



TUGAS AKHIR - TM 091486

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI
TEMPERATUR DAN HOLDING TIME PERLAKUAN
PANAS AUSTEMPERING TERHADAP STRUKTUR
MIKRO, IMPACT STRENGTH SERTA KEKERASAN
FCD 600**

FAISAL FEBRIANTO
NRP 2110 100 140

Dosen Pembimbing
Indra Sidharta ST,.MSc

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - TM 091486

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF
TEMPERATURE AND HOLDING TIME VARIATION AT
AUSTEMPERING HEAT TREATMENT'S EFFECT INTO
MICRO STRUCTURE, IMPACT STRENGTH AND
HARDNESS OF FCD 600**

FAISAL FEBRIANTO
NRP 2110 100 140

Advisor
Indra Sidharta ST,.MSc

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI
TEMPERATUR DAN HOLDING TIME PADA
PERLAKUAN PANAS AUSTEMPERING TERHADAP
STRUKTUR MIKRO, IMPACT STRENGTH SERTA
KEKERASAN FCD 600**

TUGAS AKHIR


Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FAISAL FEBRIANTO

Nrp. 2110 100 140

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- 
1. Indra Shidarta, ST.MSc(Pembimbing)
 2. Dr. Ir. Soeharto, DEA(Penguji I)
 3. Ir. Hari Subiyanto, MSc(Penguji II)
 4. Putu Suwarta, ST.MSc(Penguji III)

SURABAYA

NOVEMBER, 2015

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI
TEMPERATUR DAN HOLDING TIME PADA
PERLAKUAN PANAS AUSTEMPERING
TERHADAP STRUKTUR MIKRO, IMPACT
STRENGTH SERTA KEKERASAN FCD 600**

Nama Mahasiswa : Faisal Febrianto
NRP : 2110 100 140
Dosen Pembimbing : Indra Sidharta ST.,MSc

Abstrak

Austempered Ductile Iron (ADI) merupakan material yang memiliki keunggulan pada kombinasi sifat mekanik, massa jenis dan machinability. ADI diperoleh dari ductile iron yang diberi perlakuan panas austempering. Struktur mikro serta sifat mekanik pada ADI ditentukan oleh variasi temperatur austempering dan holding time.

Pada perlakuan panas austempering, mula-mula material dipanaskan sampai temperatur 900°C kemudian ditahan selama 1 jam. lalu material dipindahkan ke dapur salt bath untuk proses austempering pada temperatur 275°C, 325°C dan 400°C dengan holding time masing-masing selama 30 menit, 60 menit dan 120 menit

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa presentase karbon pada material melebihi standar yang telah ditentukan. Dengan perlakuan panas austempering, material FCD 600 mengalami perubahan struktur mikro dan sifat mekanik. Material FCD 600 yang telah mengalami perlakuan panas austempering memiliki struktur matriks penyusun bainitic ferrite. Nilai impact strength dan kekerasan mengalami kenaikan dibandingkan dengan material as cast. Seiring kenaikan temperatur austempering dan holding time akan menyebabkan kenaikan nilai impact strength serta penurunan nilai kekerasan pada material setelah perlakuan.

Keyword : Austempered ductile iron, Austempering, FCD 600, Bainitic ferrite

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF
TEMPERATURE AND HOLDING TIME VARIATION
AT AUSTEMPERING HEAT TREATMENT'S EFFECT
INTO MICROSTRUCTURE, IMPACT STRENGTH
AND HARDNESS OF FCD 600**

Name : Faisal Febrianto
Student ID : 2109 100 091
Academic Supervisor : Indra Sidharta ST.,MSc

Abstract

Austempered Ductile Iron (ADI) is material that has advantages such as combination of mechanical properties, density and machinability. ADI obtained from ductile iron that had been austempering heat-treated. Its microstructure and mechanical properties are determined by variations of austempering temperature and holding time.

In the Austempering Heat Treatment of the Ductile Iron FCD 600, the material initially warmed up to the austenisation temperature, which is 900° Celsius, the warming up is then held for an hour. Afterwards, the material is then moved into the salt bath furnace for getting the austempering process in 275°, 325°, and 400° Celsius with the holding time for 30, 60, and 120 minutes respectively.

From the test result showed that the percentage of carbon in the material exceeded from JIS G5502. FCD 600 that has undergone austempering heat-treated has a matrix structure with a bainitic ferrite. Impact strength and hardness value of austempered material increased in comparison with the as cast material. As the austempering temperature and holding time rise will cause impact strength increasing and hardness in material impairment after treatment.

Keywords: Austempered ductile Iron, Austempering, FCD 600, Bainitic ferrite

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT karena hanya dengan bimbingan, petunjuk, dan kasih sayang-Nya akhirnya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

“STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN HOLDING TIME PERLAKUAN PANAS AUSTEMPERING TERHADAP STRUKTUR MIKRO, IMPACT STRENGTH DAN KEKERASAN FCD 600”

Penulis berharap dari tugas akhir ini dapat diambil suatu manfaat, meskipun masih banyak kekurangan pada pembuatan tugas akhir ini.

Akhirnya pada kesempatan ini penulis ingin berterima kasih kepada orang-orang di sekitar penulis yang secara langsung maupun tidak langsung ikut terlibat dalam penulisan tugas akhir ini. Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayah dan Ibu penulis (Hari Santoso dan Rusmini) terima kasih telah banyak berkorban untuk penulis hingga penulis menjadi seperti sekarang ini.
2. Bapak Indra Sidharta ST, M.Sc selaku dosen pembimbing. Bapak Dr.Ir.Soeharto DEA, Bapak Ir. Hari Subiyanto MT, dan Bapak Putu Suwarta ST M.Sc selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak kritik dan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini
3. Ibu Dr. Ir. H.C Kis Agustin DEA selaku dosen wali selama penulis menimba ilmu di Teknik Mesin ITS.
4. Pak Mantri, pak Endang, pak Gatot, pak Budi dan mas Agus terima kasih atas bantuannya selama ini.
5. Saudara dan saudari Laboratorium Metallurgy Raya : Bilal, Upil, Iwak, Fira, Budhita, Bustan, Zahrah, Galang,

Rio, Eli, Esa, Yordi, Acol, Puput, dan banyak lagi yang penulis tidak bisa sebutkan satu per satu.

6. Keluarga M-53 yang tidak bisa saya sebut satu per satu, kalian memang Luar Biasa dan terima kasih atas dukungan dan bantuannya selama ini.
7. Zain Lillahulhaq yang telah menemani penulis selama pembuatan tugas akhir ini dan mendukung penulis untuk tetap semangat.
8. Serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuannya yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Kritik dan saran penulis harapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Surabaya, Desember 2014

Penulis

DAFTAR ISI

Judul	
Lembar Pengesahan	
Abstrak	i
Abstract	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Besi Tuang (<i>Cast Iron</i>).....	6
2.2.1.1 Komposisi Besi Tuang	6
2.2.1.2 Macam - Macam Besi Tuang.....	8
2.2.2 <i>Austempered Ductile Iron</i>	11

2.2.2.1	Proses <i>Austempering</i>	12
2.2.2.2	Struktur mikro pada <i>Austempered Ductile Iron</i>	17
2.2.2.2.1	Bainitic Ferrite	18
2.2.2.2.2	Austenit Kaya Karbon.....	18
2.2.2.2.3	<i>Blocky Austenite</i>	18
2.2.3	Aplikasi <i>Austempered Ductile Iron</i> dalam dunia industri	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		23
3.1	Flowchart Penelitian.	23
3.2	Material.....	24
3.2.1	Material yang digunakan	24
3.2.2	Bentuk Spesimen Uji	24
3.3	Alat-alat yang digunakan.....	26
3.3.1	Dapur Pemanas.....	26
3.3.2	Dapur <i>Austempering</i>	26
3.3.3	Peralatan <i>Grinding</i> dan <i>Polishing</i>	27
3.3.4	Peralatan pengujian etsa (Etching)	27
3.3.5	Peralatan pengamatan struktur mikro	28
3.3.6	Mesin uji <i>impact</i>	29
3.3.7	Peralatan Kekerasan	29
3.4	Langkah-langkah percobaan.....	30
3.4.1	Perlakuan panas <i>Austempering</i>	30
3.4.2	Pengamatan metalography.....	32
3.4.3	Pengujian <i>impact</i>	33

3.4.4 Pengujian kekerasan	33
3.5 Tabel Rancangan Penelitian	33
BAB IV DATA HASIL PENELITIAN.....	35
4.1 Data Pengujian Material awal FCD 600.....	35
4.2 Struktur Mikro Hasil <i>Austempering</i>	36
4.3 Pengaruh Terhadap <i>Impact Strength</i>	42
4.4 Pengaruh Terhadap Kekerasan	43
4.5 Data Hasil <i>Scaning Electro Microscope (SEM)</i>	44
BAB V ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	47
5.1 Pengaruh Holding Time dan Temperatur Terhadap Struktur Mikro	48
5.2 Pengaruh <i>Holding Time</i> dan <i>Temperature</i> Terhadap Kekuatan Tarik	51
5.3 Pengaruh <i>Holding Time</i> dan <i>Temperature</i> Terhadap Kekerasan	53
5.4 <i>Austempered Ductile Iron</i> FCD 600 Sebagai Material <i>Crankshaft</i> Mesin Sinjai	54
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	57
6.1 Kesimpulan	57
6.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA.....	59
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Komposisi Kimia FCD 600	24
Tabel 3.2 Rancangan Penelitian	34
Tabel 4.1 Data hasil pengujian unsur kimia material FCD 600	35
Tabel 4.2 Data hasil pengujian sifat mekanik material as cast FCD 600	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafit pada besi cor : a)flake, b)layer ferrite-cementite, c)rosettes, d)nodular	9
Gambar 2.2 <i>Range</i> komposisi dan skematik besi cor	10
Gambar 2.3 Skema perlakuan panas <i>Austempering</i>	13
Gambar 2.4 Struktur mikro ADI.....	15
Gambar 2.5 <i>Isothermal transformation</i> untuk <i>ductile iron</i>	16
Gambar 2.6 Pengaruh temperatur <i>austempering</i> terhadap ketangguhan.....	17
Gambar 2.7 Pertumbuhan butir perlit dengan inti Fe ₃ C dan bainitic ferrit dengan inti ferrit	18
Gambar 2.8 Blocky austenite pada mikrostruktur bainitic	19
Gambar 2.9 Struktur mikro blocky austenit	19
Gambar 2.10 Distribusi pasar penggunaan ADI.....	20
Gambar 2.11 Crankshaft Mesin SINAS (Sinjai Nasional).....	20
Gambar 2.12 ADI hypoid pinion and ring gear pair.....	20
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian	23
Gambar 3.2 Y – Block JIS 5502 [8].....	24
Gambar 3.3 Bentuk Sepesimen Uji <i>Impact</i> JIZ Z 2202	25
Gambar 3.4 Spesimen Uji Metalografi	25
Gambar 3.5 Dapur pemanas	26
Gambar 3.6 Dapur <i>Austempering</i>	26
Gambar 3.7 Mesin <i>grinding</i> / <i>Polishing</i>	27

Gambar 3.8 Peralatan pengamatan struktur mikro.....	28
Gambar 3.9 Peralatan uji <i>impact</i>	29
Gambar 3.10 Mesin uji kekerasan.....	30
Gambar 3.11 Skema perlakuan panas <i>Austempering</i>	31
Gambar 3.12 Ilustrasi spesimen uji kekerasan.....	33
Gambar 4.1 Struktur mikro awal FCD 600 (a)perbesaran 200X (b) perbesaran 500X.....	36
Gambar 4.2 Struktur mikro hasil perlakuan panas <i>austempering</i> FCD 600 pada 275 °C dengan holding time 30 menit perbesaran 500X.....	37
Gambar 4.3 Struktur mikro hasil perlakuan panas <i>austempering</i> FCD 600 pada 275 °C dengan holding time 60 menit perbesaran 500X.....	37
Gambar 4.4 Struktur mikro hasil perlakuan panas <i>austempering</i> FCD 600 pada 275 °C dengan holding time 120 menit perbesaran 500X.....	38
Gambar 4.5 Struktur mikro hasil perlakuan panas <i>austempering</i> FCD 600 pada 325 °C dengan holding time 30 menit perbesaran 500X.....	39
Gambar 4.6 Struktur mikro hasil perlakuan panas <i>austempering</i> FCD 600 pada 325 °C dengan holding time 60 menit perbesaran 500X.....	39
Gambar 4.7 Struktur mikro hasil perlakuan panas <i>austempering</i> FCD 600 pada 325 °C dengan holding time 120 menit perbesaran 500X.....	40
Gambar 4.8 Struktur mikro hasil perlakuan panas <i>austempering</i> FCD 600 pada 400 °C dengan holding time 30 menit perbesaran 500X.....	41

Gambar 4.9 Struktur mikro hasil perlakuan panas austempering FCD 600 pada 400 °C dengan holding time 60 menit perbesaran 500X.	41
Gambar 4.10 Struktur mikro hasil perlakuan panas austempering FCD 600 pada 400 °C dengan holding time 120 menit (a) perbesaran 200X (b) perbesaran 500X	42
Gambar 4.11 Pengaruh <i>holding time</i> terhadap nilai <i>impact strength</i> .	43
Gambar 4.12 Pengaruh <i>holding time</i> terhadap nilai kekerasan (HBN).	44
Gambar 4.13 Hasil pengujian SEM pada penampang pola patahan <i>As Cast</i> .	45
Gambar 4.14 Hasil pengujian SEM pada penampang pola patahan temperatur austempering 275°C.	45
Gambar 4.15 Hasil pengujian SEM pada penampang pola patahan temperatur austempering 400°C.	45
Gambar 5.1 Persentase karbon dan silikon untuk besi tuang nodular	48
Gambar 5.2 Struktur <i>Blocky austenite</i> .	49
Gambar 5.3 Struktur <i>retained austenite</i> .	50
Gambar 5.4 Crankshaft FCD 600 Mesin Sinjai PT. Merak Megah Steel	55
Gambar 5.5 Analisa tegangan maksimal pada crankshaft mesin Sinjai	55

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1. Latar Belakang

Dewasa ini, ilmu pengetahuan dalam bidang material telah berkembang semakin pesat. Ilmu logam memegang peranan penting dalam perkembangan teknologi, khususnya dalam bidang otomotif seperti pemilihan material *crankshaft* mobil SINAS. Pemilihan logam dalam industri otomotif dipengaruhi oleh banyak faktor, mulai dari faktor ekonomi, sifat mekanik material dan lain sebagainya yang disesuaikan dengan penggunaannya.

Austempered Ductile Iron (ADI) merupakan salah satu material yang memiliki keunggulan sifat mekanik pada segi kekuatan, ketangguhan dan kekerasan. Keunggulan lainnya seperti massa jenis yang lebih rendah dari baja karbon, biaya produksi yang lebih murah daripada baja dan aluminium, serta *machinability* yang baik membuat ADI alternatif dalam program pengurangan berat pada industri otomotif, transportasi, mesin pertanian serta alat berat yang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi energi peralatan-peralatan tersebut.

Austempered Ductile Iron terbuat dari besi cor nodular (*ductile iron*) yang melalui proses perlakuan panas *austempering*. Proses *austempering* merupakan pemanasan material (besi cor nodular) hingga terbentuk fasa austenit lalu material didinginkan cepat (*quenching*) pada media saltbath (KNO_3 dan NaNO_3) yang telah dipanaskan diatas suhu *martensit start*, kemudian temperatur material ditahan hingga austenit bertransformasi penuh. Setelah itu material didinginkan pada temperatur ruang.

Pada penelitian ini, bahan dasar pembuatan ADI adalah besi cor nodular FCD 600 non standar dengan presentase karbon melebihi standar JIS G5502 yang akan melewati proses perlakuan panas *austempering* dengan variasi temperatur dan waktu. Besi cor nodular FCD 600 merupakan material *crankshaft* mesin Sinjai yang diperoleh dari pengecoran di PT. Merakindo Gresik. Dari hasil perlakuan panas ini akan dipelajari pengaruh

variasi temperatur dan waktu *austempering* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro besi cor nodular FCD 600.

1. 2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh temperatur dan waktu *Austempering* terhadap struktur mikro logam FCD 600.
2. Bagaimana pengaruh temperatur dan waktu *Austempering* terhadap *impact strength* dan kekerasan FCD 600.

1. 3. Batasan Masalah

Agar penelitian dan batasan masalah tidak terlalu meluas dan penelitian ini bisa mencapai tujuan yang telah ditentukan, maka diperlukan batasan masalah yaitu :

1. Peralatan yang digunakan untuk melakukan perlakuan panas masih dalam kondisi baik
2. Pengaruh proses pembuatan spesimen seperti pemotongan, penggerindaan dan pemolesan terhadap struktur mikro dianggap kecil dan diasumsikan sama untuk masing-masing spesimen.
3. Waktu pemindahan ke dapur *saltbath* sama untuk masing - masing spesimen.

1. 4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Menganalisa pengaruh variasi temperatur dan waktu *Austempering* terhadap struktur mikro FCD 600.
2. Menganalisa pengaruh variasi temperatur dan waktu *Austempering* terhadap *impact strength* dan kekerasan FCD 600.

1. 5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Perusahaan industri pengecoran / pengolahan logam dapat mengaplikasikan proses pembuatan material ADI dengan baik.
2. Dapat diaplikasikan untuk pembuatan *crankshaft* mesin Sinjai.
3. Sebagai kontribusi pengetahuan Iptek dalam bidang ilmu material khususnya metalurgi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Bagus Wahyu Sarwoaji [10] pada tahun 2007 tentang pengaruh *holding time* pada proses *austempering* terhadap kekerasan, ketangguhan dan struktur mikro FCD 50 diperoleh hasil bahwa proses *austempering* dapat meningkatkan kekerasan serta ketangguhan pada material FCD 50. Proses *austempering* mengubah struktur mikro FCD 50 yang awalnya terdiri dari ferrite, pearlite, dan grafit menjadi *bainitic ferrite*. Peningkatan kekerasan pada FCD 50 disebabkan terbentuknya *blocky austenit*. Terbentuknya *blocky austenit* karena waktu *austempering* yang terlalu singkat sehingga terdapat *untransformed austenite* yang cenderung mengandung martensit saat temperatur kamar. Dengan bertambahnya *holding time* (60-120 menit), harga kekerasan semakin menurun seiring dengan berkurangnya *blocky austenit* yang terbentuk. Sedangkan peningkatan ketangguhan pada FCD 50 disebabkan oleh adanya struktur *bainitic ferrite*. Dengan bertambahnya *holding time* (60-120 menit), harga ketangguhan akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya bainit yang terbentuk dan berkurangnya pembentukan *blocky austenit*.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Adli M.R [14] pada tahun 2007 tentang pengaruh temperatur *austempering* terhadap pembentukan matriks *bainitic-ferrite* pada FCD 50 didapatkan hasil bahwa pada temperatur *austempering* 250, 275, 300 dan 325°C terbentuk struktur *fine bainitic ferrite* pada spesimen FCD 50, sedangkan struktur mikro pada temperatur *austempering* 350, 375, dan 400°C cenderung memiliki butiran yang lebih kasar atau biasa disebut *coarse bainitic ferrite*. Kenaikan *holding time* pada penelitian ini mempengaruhi jumlah struktur *bainitic ferrite* yang terbentuk, dan hal ini sangat berpengaruh terhadap kekuatan material

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Besi Tuang (*Cast Iron*)

Sebagaimana namanya, besi ini dibuat dengan cara dituang atau dicor, Besi tuang (*Cast Iron*) termasuk dalam paduan besi dengan kadar karbon diatas 2.14 wt%, namun dalam praktiknya sebagian besar besi cor mengandung kadar karbon antara 3.0 hingga 4.5 wt% serta terdapat penambahan elemen paduan lainnya. Besi tuang memiliki keuletan yang rendah, sehingga proses pembuatan yang paling cocok adalah dengan cara penuangan.

Walaupun keuletan dan kekuatannya lebih rendah daripada baja, karena mudah dituang dan memiliki sifat khusus yang berguna, maka penggunaannya cukup luas. Dengan penambahan unsur paduan dan perlakuan panas yang tepat, maka dapat diperoleh sifat yang dibutuhkan.

2.2.1.1 Komposisi Besi Tuang

Komposisi besi tuang adalah unsur-unsur kimia yang digunakan dalam proses pengolahan dan pengecoran, terutama pada komponen-komponen mesin yang menggunakan besi tuang.

➤ Komposisi dari besi tuang terdiri dari 5, yaitu:

1) Karbon

Karbon sebagai unsur paling penting mempunyai pengaruh sangat besar terhadap sifat mekanik, seperti: kekuatan tarik, regangan patah, kekerasan, dll. Jumlah karbon di dalam besi tuang sekitar 2 - 12 %, karbon dapat ditemukan didalam besi tuang dalam keadaan bebas yang dikenal dengan grafit.

2) Silikon

Silikon memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap perubahan sifat mekanik. Karbon dan silikon mempunyai fungsi yang mirip, keduanya mendorong pembentukan grafit sehingga kandungan kedua unsur ditentukan berdasarkan harga tingkat kejenuhan karbon. Silikon ditambahkan sekitar 1,4-2,3% untuk menggalakkan pembentukan grafit. Silikon didalam besi menempatkan diri didalam ferit. Selain itu, penambahan silikon akan meningkatkan fluiditas pada besi tuang.

3) Fosfor

Fosfor bahan ini membuat besi mudah mencair dan bertambah getas. Bila kandungan fosfor lebih dari 0.3 persen, besi tuang akan kehilangan kekuatannya serta tidak mudah *dimachining*. Apabila besi tuang yang diinginkan amat halus dan tipis maka kandungan fosfornya bervariasi antara 1% - 1,5%. fosfor di dalam besi tuang hingga 0,3% akan membentuk senyawa Fe_3P dan fluiditas menjadi lebih tinggi karena suhu eutektik turun hingga 956 °C. fosfor diperlukan untuk pembuatan benda tuang tipis, namun pemberian yang terlalu banyak dapat mengakibatkan timbulnya lubang-lubang kecil pada permukaan besi tuang, maka kandungan fosfor dibatasi antara 0,2-2,0%.

4) Mangan

Bahan ini meningkatkan kekerasan besi tuang serta menjadi penstabil karbida. Mangan dibutuhkan untuk merangsang pembentukan struktur perlit, juga diperlukan untuk mengikat sulfur membentuk senyawa MnS . Jumlah kandungan mangan pada besi tuang sekitar 0,5-0,7%.

5) Sulfur

Sulfur meningkatkan menurunkan keuletan pada besi tuang. Adanya bahan ini membuat besi tuang cepat membeku, yang berakibat adanya cacat yang

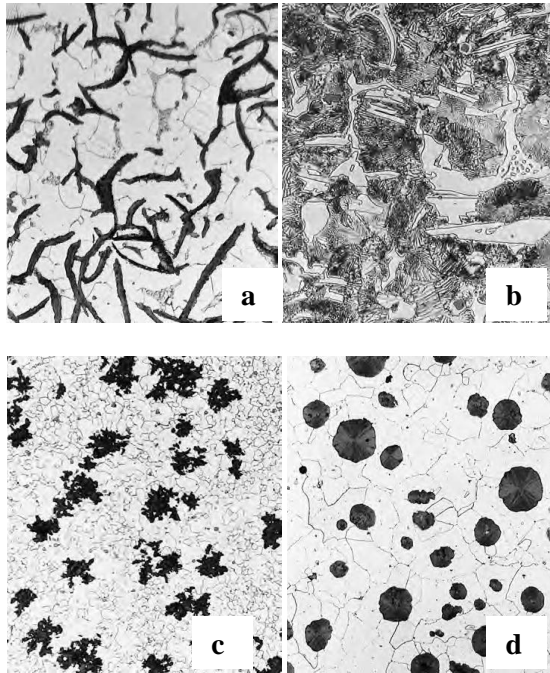
berupa pori-pori udara yang terperangkap. Sulfur akan mengurangi fluiditas dari besi tuang. Kandungan sulfur maksimal 0,15%. Sulfur masuk ke dalam besi karena kontak langsung dengan kokas atau terbawa oleh bahan baku: *pig iron*, besi cor bekas atau baja bekas.

2.2.1.2 Macam- macam besi Tuang

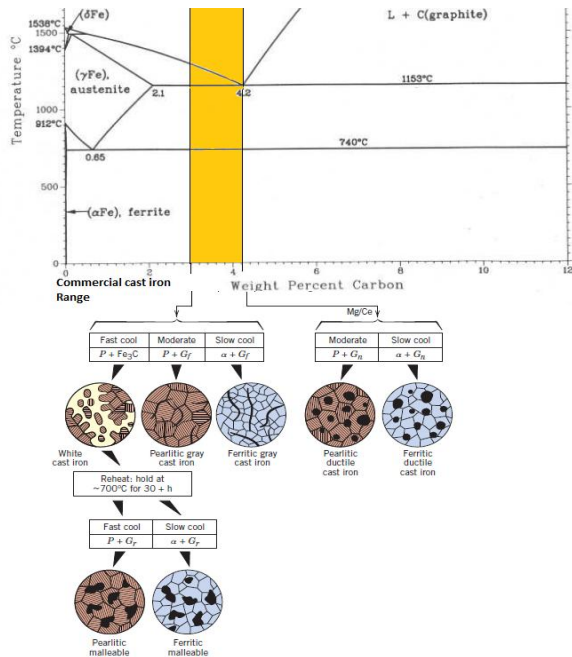
Besi tuang dapat diklasifikasikan menurut struktur mikronya. Karbon dalam besi tuang dapat berupa senyawa sementit maupun berupa karbon bebas (grafit). Klasifikasi besi tuang dapat digambarkan seperti pada gambar 2.1

1. Besi Tuang Kelabu (*Grey Cast Iron*).

Jenis besi tuang ini sering dijumpai (sekitar 70% besi tuang berwarna abu-abu). Besi tuang kelabu mempunyai grafit yang berbentuk *flake*. Besi tuang ini memiliki kekuatan tarik yang tidak terlalu tinggi dan keuletannya rendah sekali (*Nil Ductility*).



Gambar 2.1 Grafit pada besi cor : a) flake, b) layer ferrite-cementite, c) rosettes, d) nodular [2]



Gambar 2.2 Range komposisi dan skematik besi cor [2]

2. Besi Tuang Putih (*White Cast Iron*).

Besi tuang ini seluruh karbonnya berupa cementit (Fe_3C) sehingga mempunyai sifat sangat keras, getas dan tidak dapat dimachining. Struktur mikronya terdiri dari karbida yang menyebabkan berwarna putih.

3. Besi Tuang Mampu Tempa (*Malleable Cast Iron*)

Besi Tuang jenis ini dibuat dari besi tuang putih dengan melakukan *heat treatment* kembali yang bertujuan untuk menguraikan seluruh gumpalan sementit (Fe_3C) dan membentuk grafit berbentuk rosettes yang

memiliki matrik ferrit atau perlit. Besi tuang mampu tempa mempunyai struktur mikro yang mirip dengan besi tuang nodular dan memiliki keuletan yang lebih tinggi dari besi tuang putih.

4. Besi Tuang Nodular (*Nodular Cast Iron*)

Besi tuang nodular yang mempunyai grafit berbentuk bulat, adalah jenis besi tuang yang dihasilkan dari pengembangan besi cor kelabu. Besi cor nodular dihasilkan dengan cara menambahkan unsur magnesium (Mg) atau serium (Ce) pada saat peleburan sehingga mengikat sulfur dan mendorong proses grafitisasi dan menghasilkan grafit yang berbentuk *nodule*, sehingga dinamakan *Nodular Cast Iron*. karena besi tuang nodular mempunyai keuletan yang tinggi maka besi tuang ini dikategorikan sebagai *ductile cast iron*.

Nodular Cast Iron memiliki beberapa keunggulan bila dibandingkan besi tuang lainnya,

- bentuk grafit yang bulat memungkinkan penerimaan tegangan menyebar dan tidak terkonsentrasi.
- *Machinability* dan kekuatan yang baik, serta ketangguhannya.
- *Hot workability* dan *hardenability* yang baik

2.2.2 Austempered Ductile Iron

Austempered Ductile Iron (ADI) adalah salah satu jenis material yang masih tergolong baru, sebab ditemukan pada tahun 1948 hingga saat ini masih banyak kelompok ilmuwan maupun individu-individu yang mencoba menganalisa keunggulannya. Salah satu hal yang paling menarik dari ADI adalah keunggulan

sifat mekaniknya jika dibandingkan dengan beberapa material lain yang ada di pasaran saat ini.

Secara umum ADI dapat didefinisikan sebagai jenis besi tuang yang didapat dari perlakuan panas *Austempering* terhadap *ductile iron*. Melalui perlakuan panas *austempering* tersebut maka dapat diperoleh sebuah material dengan kekuatan dua kali lebih besar dibandingkan dengan *ductile iron* pada umumnya, namun tetap memiliki ketangguhan dan kekuatan yang sama. ADI (*Austempered Ductile Iron*) juga memiliki keunggulan pada sifat mekaniknya jika dibandingkan dengan baja atau besi tuang yang lain. Dengan keunggulan-keunggulan tersebut, ADI menjadi alternatif pilihan lain dalam industri sebagai bahan pengganti baja, yang memiliki sifat mekanik jauh lebih baik.

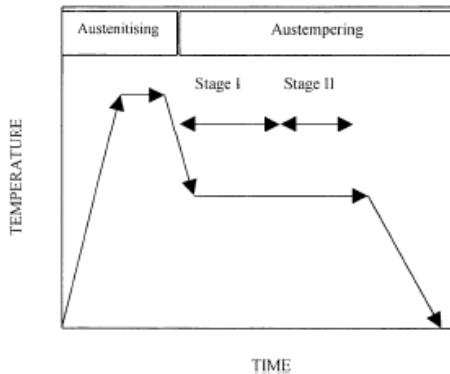
Untuk mendapatkan jenis ADI yang sesuai dengan Standart ASTM 897- 90 perlu diperhatikan komposisi kimia yang dimiliki oleh *ductile iron* sebagai bahan dasarnya. Komposisi kimia yang umum digunakan dalam proses pembuatan ADI adalah Fe-36C-2.5 Si-0.5Mn-0.05Mg wt.%, tetapi dapat divariasikan beberapa komposisi dan disesuaikan dengan kebutuhan. Seperti yang biasa dilakukan adalah dengan menambahkan komposisi seperti , Mo, Ni dan Cu. Salah satu alasan dilakukannya penambahan komposisi adalah untuk menekan adanya reaksi pearlitic, sehingga mendorong austenite yang tersisa di butiran untuk berubah menjadi struktur bainit seiring dengan turunnya temperatur.

2.2.2.1 Proses Austempering

ADI diperoleh dari perlakuan panas isothermal pada *nodular ductile iron* yang dikenal dengan proses *Austempering*. Proses perlakuan panas ADI ini terdiri dari empat tahap utama, yaitu :

- *Austenitization*
- pendinginan ke temperatur *austempering*,
- *austempering*
- pendinginan untuk temperatur ruang

Semua tahapan yang diatas mempunyai peranan penting terhadap perubahan struktur mikro dan sifat mekanik ADI yang dihasilkan. Perlu pemilihan parameter-parameter waktu dan temperatur yang tepat dalam setiap tahap tersebut.



Gambar 2.3 Skema perlakuan panas *Austempering* [13]

1. *Austenitization Process*

Selama proses austenisasi, material ADI dipanaskan sampai temperature diantara 850°C – 950°C selama waktu antara 15 menit sampai 2 jam. Temperatur dan lama waktu Austenitisasi merupakan faktor penting yang mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik *Austempered Ductile Iron*. Temperatur asutenisasi dapat mempengaruhi kandungan karbon pada austenite. Temperatur austenisasi yang tinggi dapat meningkatkan kandungan karbon dari austenit yang dapat meningkatkan ketangguhan dan *hardenability*. Namun mempengaruhi transformasi selama *austempering* dan berpotensi mengurangi sifat mekanik setelah *austempering*. Semakin tinggi kandungan karbon pada austenit akan mempengaruhi lamanya waktu untuk bertransformasi menjadi ausferrit.

2. *Quenching Process*

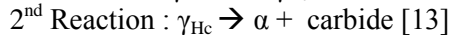
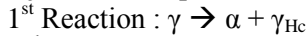
Quenching (pendinginan) adalah salah satu tahap dalam perlakuan panas austempering tahap dimana material didinginkan

(*Quenching*) dari temperatur austenitisasi sampai temperature *Austempering*. Laju pendingnan harus dikontrol untuk menghindari terbentuknya pearlit disekitar nodular karbon. Biasanya waktu pendinginan dikontrol secepat mungkin / beberapa untuk menghindari hidung pearlit dalam *Isothermal Transformation Diagram*. Selain itu, material tidak boleh didinginkan sampai dibawah temperatur martensit (M_s).

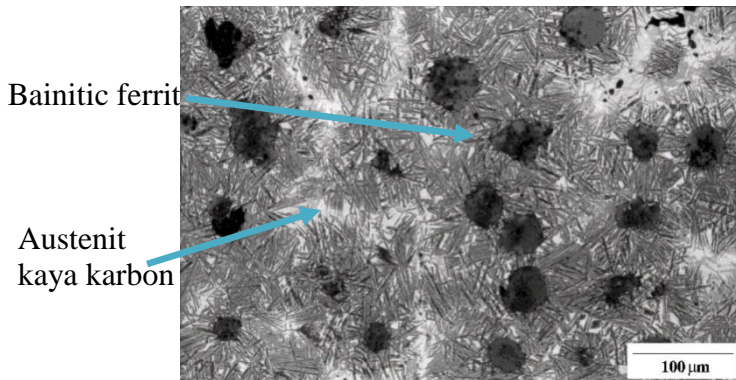
3. *Austempering*

Pada langkah ini, di mana transformasi isothermal *ausferrite* terjadi, adalah tahap yang menentukan mikro struktur akhir dari material *casting* (ADI). Waktu *austempering* dan suhu harus dikontrol untuk mendapatkan struktur mikro yang diinginkan untuk memiliki sifat mekanik yang optimal.

Selama proses austempering, ADI mengalami dua macam proses transformasi. Pada gambar 2.3 dapat dilihat bahwa proses *austempering* terbagi menjadi dua tahap :



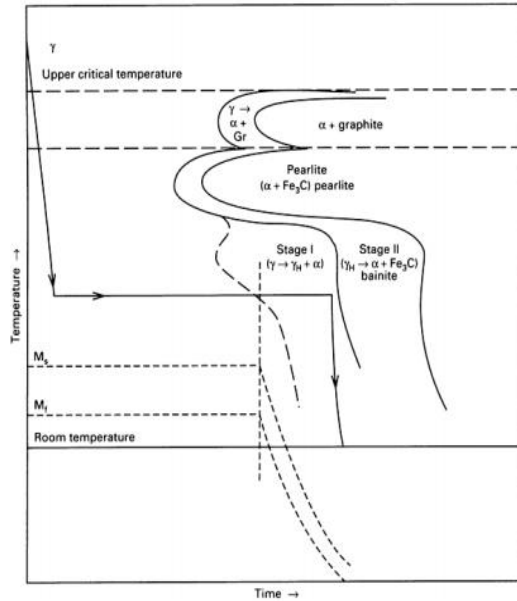
Pada tahap pertama austenit (γ) akan terdekomposisi menjadi *bainitic ferrite* (α) dan austenite kaya karbon (γ_{Hc}), perpaduan dua struktur mikro tersebut dinamakan *ausferrite*. Struktur mikro *ausferrite* dapat dilihat pada gambar 2.4. Pada gambar 2.4 terlihat bahwa struktur *ausferrite* terdiri dari bainit (warna gelap dengan bentuk seperti jarum) dan austenit kaya karbon (berwarna terang diantara jarum-jarum bainit).



Gambar 2.4 Struktur mikro ADI [5]

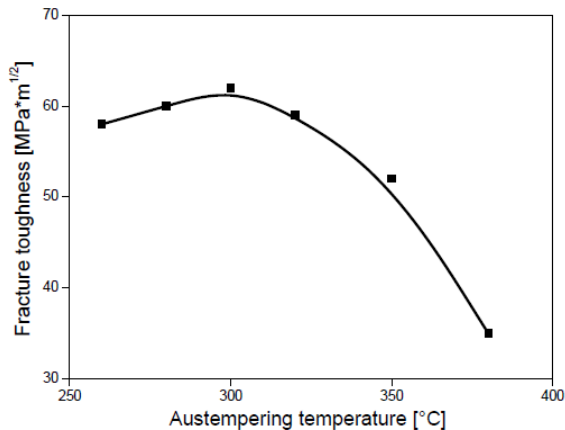
Ausferrite inilah yang memberikan ketangguhan pada material ADI, terutama struktur austenit kaya karbon, yang pada prinsipnya sama dengan *retained austenite*, sehingga dengan adanya struktur tersebut keuletan akan bertambah.

Pada tahap kedua terjadi ketika material ditahan terlalu lama pada temperatur *austempering*, dimana austenite kaya karbon (γ_{HC}) akan terdekomposisi menjadi *bainitic ferrite* dan karbida. Tahap kedua ini sering dihindari apabila sifat ketangguhan dari ADI yang diutamakan, karena terbentuknya fase karbida pada tahap dua dapat menurunkan ketangguhan dari ADI.



Gambar 2.5 *Isothermal transformation* untuk *ductile iron* [6]

Temperatur *austempering* adalah faktor penting dari sifat mekanik ADI. Untuk membuat ADI dengan kekuatan dan kekerasan yang rendah, tetapi memiliki *elongation* dan ketangguhan yang bagus maka harus dipilih temperatur yang tinggi (350 – 400° C). Sebaliknya, untuk menghasilkan material ADI dengan kekuatan dan kekerasan yang lebih bagus, tapi ketangguhan yang lebih rendah, maka dipilih temperatur *austempering* yang lebih rendah (dibawah 350° C).



Gambar 2.6 Pengaruh temperatur *austempering* terhadap ketangguhan [4]

4. Proses pendinginan

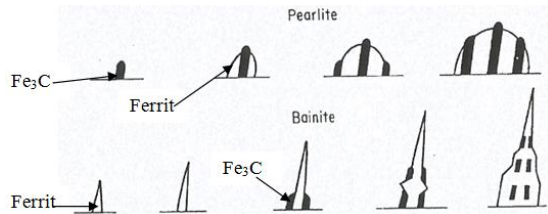
Pada akhir langkah *austempering*, struktur *bainitic ferrite* serta austenit kaya karbon yang diinginkan ADI telah terbentuk. Biasanya spesimen didinginkan dengan udara bebas hingga suhu kamar karena itu merupakan cara yang ekonomis.

2.2.2.2 Struktur mikro pada *Austempered Ductile Iron*

Struktur mikro dari ADI yang memiliki keuletan dan ketangguhan yang optimal adalah gabungan dari matriks *bainitic ferrite* dan austenit kaya karbon. Sedangkan munculnya struktur lain seperti *blocky austenite* dapat menurunkan ketangguhan material tersebut

2.2.2.2.1 Bainitic Ferrite

Bainitic ferrite merupakan struktur mikro yang terbentuk dari transformasi isothermal austenit pada temperatur dibawah *nose*. Bainitic ferrite terdiri dari fase ferrit (α) dengan presipitasi karbida (Fe_3C) didalamnya, berbeda dengan struktur pearlite yang terdiri dari ferrit (α) dan karbida (Fe_3C) dalam bentuk lamelar.



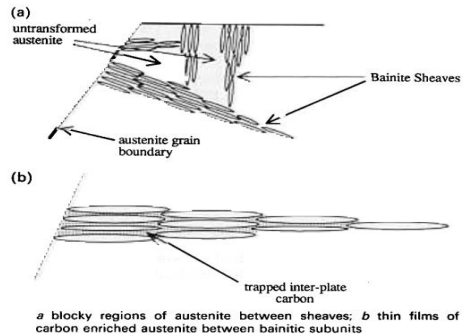
Gambar 2.7 Pertumbuhan butir perlit dengan inti Fe_3C dan Bainitic ferrite dengan inti ferrit [1]

2.2.2.2.2 Austenit kaya karbon

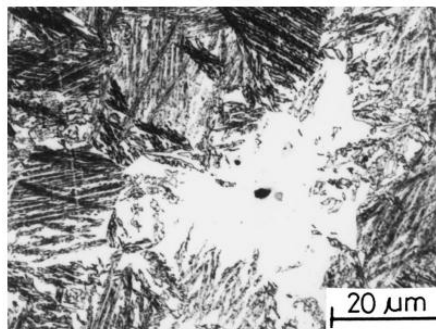
Austenit kaya karbon terbentuk karena adanya difusi karbon dari bainitic ferrite saat proses austempering sehingga memperkaya kandungan karbon pada austenit disekeliling bainitic ferrite. Dengan adanya kandungan karbon yang tinggi dapat menstabilkan austenit pada temperatur kamar.

2.2.2.2.3 Blocky Austenite

Apabila waktu *austempering* sangat singkat, maka transformasi *bainitic ferrite* tidak mencapai 100% dan terdapat *untransformed austenite* sisa yang dapat bertransformasi menjadi martensite pada saat pendinginan. *Untransformed austenite* atau yang biasanya dikenal dengan *Blocky austenite* ini bersifat lebih keras karena cenderung mengandung martensite.



Gambar 2.8 *Blocky austenite* pada mikrostruktur *bainitic* [11]

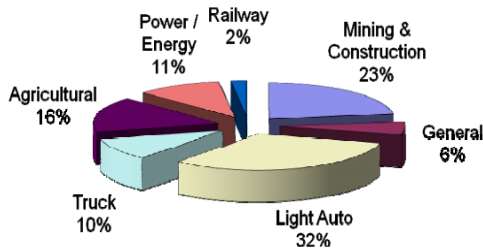


Gambar 2.9 Struktur mikro *blocky austenit* [12]

2.2.4 Aplikasi *Austempered Ductile Iron* dalam dunia industri

ADI dapat digunakan sebagai alternatif bahan pengganti baja pada beberapa komponen dengan spesifikasi tertentu seperti crankshaft yang bekerja pada daya rendah, didasarkan pada keunggulan yang dimilikinya. Baik dari sisi sifat mekaniknya, maupun keunggulan dari sisi ekonomis seperti rendahnya biaya yang dibutuhkan dalam proses *casting* dan *machining*. Dalam tiga puluh tahun terakhir, penggunaan

ADI dalam kebutuhan sehari-hari dalam dunia industri khususnya sangat berkembang pesat seperti yang ditunjukkan dalam gambar



Gambar 2.10 distribusi pasar penggunaan ADI [3]

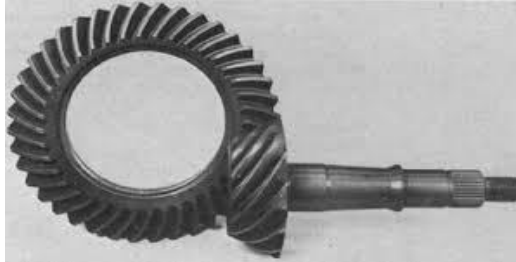
Salah satu penggunaan ADI yaitu sebagai material *crankshaft*. *Crankshaft* adalah sebuah bagian pada mesin yang mengubah gerak translasi dari piston menjadi gerak rotasi putaran. Untuk mengubahnya, sebuah poros engkol (*crankshaft*) membutuhkan pena engkol (*crankpin*), sebuah bearing tambahan yang diletakkan di ujung batang penggerak pada setiap silindernya. Ruang engkol (*crankcase*) akan dihubungkan ke roda gila (*flywheel*) atau roda sehingga mobil atau motor bisa bergerak. Material yang digunakan untuk bahan *crankshaft* biasanya menggunakan besi cor nodular, untuk *crankshaft* SINAS pada gambar 2.11 menggunakan bahan FCD 600.



Gambar 2.11 *Crankshaft* SINAS (Sinjai Nasional)

Contoh lain dari penggunaan ADI dalam proses industri, antara lain :

- Automotif : poros engkol, pasangan *ring gears*, *timing gears* pada mesin diesel, *sprocket* dll.



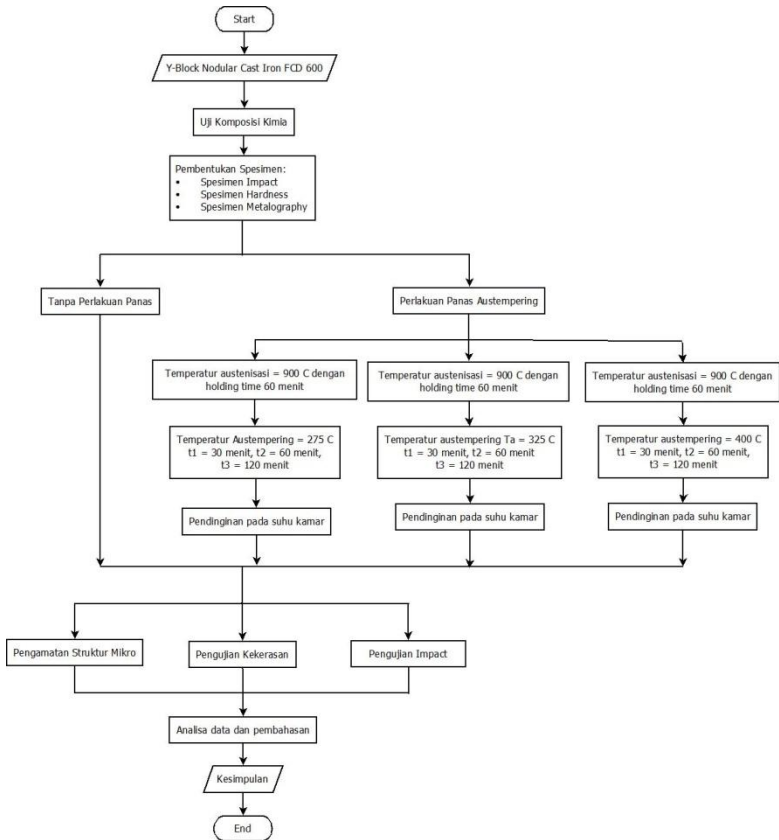
Gambar 2.12 ADI *hypoid pinion and ring gear pair* [3]

- Pompa dan kompresor : *impeller*, *valve bodies*, *compressor housing*.
- Peralatan konstruksi : silinder hidrolik, roda gigi pada *circle drive*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

3.2 Material

3.2.1 Material yang digunakan

Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah Nodular Cast Iron FCD 600 non standar yang diperoleh dari pengecoran di PT. Merak Megah Steel dengan komposisi kimia :

Tabel 3.1 Komposisi Kimia FCD 600 Non Standar

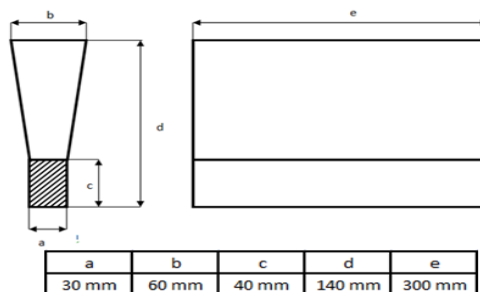
FCD 600 (%)	C	Si	Mn	P	Ni	Cr	Mo	Si
	5.67	2.32	0.512	0.0159	0.07	0.24	0,02	2,32

Magnesium dan cerium yang ditambahkan pada besi cor nodular berfungsi sebagai pengikat sulfur lalu membentuk slag di permukaan logam cair. Oleh karena itu tidak ada kandungan magnesium saat pengujian unsur kimia FCD 600.

3.2.2 Bentuk Spesimen Uji

1. Standart Y-Block

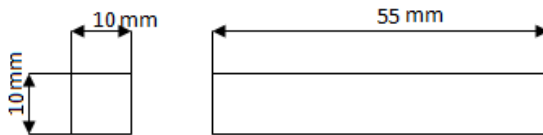
Bentuk spesimen uji yang digunakan adalah *Y-Block Nodular cast iron* FCD 600 dengan standart JIS G 5502.



Gambar 3.2 *Y – Block* JIS G 5502 [8]

2. Bentuk Spesimen Uji *Impact*

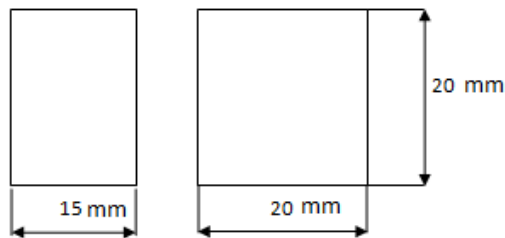
Standard Y-Block yang diperoleh dari hasil pengecoran di PT. Merakindo akan dibentuk spesimen uji *impact* dengan standart JIS Z 2202 (No 4 tanpa *notch*) seperti pada gambar :



Gambar 3.3 Bentuk Spesimen Uji *Impact* JIS Z 2202

3. Bentuk spesimen Uji kekerasan dan *Metalography*

Spesimen yang akan digunakan untuk pengujian *metalography* dibentuk dari *Y-block* yang telah dibuat sebelumnya. Bentuk spesimen *metalography* dan pengujian kekerasan seperti pada gambar berikut.



Gambar 3.4 Spesimen Uji *Metalography*

3.3 Alat-alat yang digunakan

3.3.1 Dapur Pemanas

Peralatan ini digunakan untuk memberikan perlakuan panas dan juga *Holding time* pada temperatur serta waktu penahan yang telah ditentukan. Pada penelitian ini digunakan dapur pemanas dengan kapasitas pemanasan 30°C hingga 900°C.



Gambar 3.5 Dapur pemanas

3.3.2 Dapur Austempering

Dapur *Salt bath* ini memiliki kapasitas pemanasan 30°C hingga 450°C dengan menggunakan garam tertentu agar dicapai hasil yang diinginkan. Peralatan ini digunakan untuk melakukan proses tempering pada variasi temperatur dan waktu yang sudah ditentukan



Gambar 3.6 Dapur Austempering

3.3.3 Peralatan *Grinding* dan *Polishing*

Peralatan ini digunakan untuk membuat permukaan spesimen rata, sehingga dapat digunakan untuk pengamatan struktur mikro maupun struktur makro. Proses ini berlangsung secara bertahap menggunakan kertas gosok dengan tingkat grid tertentu dengan dialiri air sampai permukaan spesimen tersebut halus. Sedangkan *polishing* menggunakan kain wol yang ditaburi bubuk alumina dan dialiri air sampai permukaan spesimen lebih halus lagi.



Gambar 3.7 Mesin *grinding* / *Polishing*

3.3.4 Peralatan pengujian etsa (*Etching*)

Proses etsa dilakukan dengan maksud untuk menkorosikan bagian permukaan spesimen sehingga struktur mikro spesimen dapat . Pada proses etsa ini *etching reagent* yang digunakan adalah larutan “nital” yang merupakan campuran antara alkohol sebanyak 98% volume dengan asam nitrat sebanyak 2% volume.

3.3.5 Peralatan pengamatan struktur mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan di laboratorium metalurgi dimana peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Mikroskop dan kamera digital
- Satu unit komputer

Gambar struktur mikro yang diperoleh dari mikroskop dikirim ke *digital still recorder* melalui kamera. Gambar ini kemudian direkam oleh *digital still recorder* kemudian disimpan oleh komputer dalam bentuk file. Dengan peralatan ini dapat dilakukan pengamatan dengan pembesaran 100X sampai dengan 1000X sesuai dengan kebutuhan. Gambar 3.8 dibawah ini menampilkan peralatan yang digunakan.



Gambar 3.8 Peralatan pengamatan struktur mikro

3.3.6 Mesin uji *impact*

Mesin uji *impact* yang digunakan adalah Karl Frank GMBH tipe 580M dengan kapasitas 30 Kpm yang berada di jurusan teknik Mesin ITS



Gambar 3.9 Peralatan uji *impact*

3.3.7 Peralatan Kekerasan

Mesin uji kekerasan yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah milik laboratorium Metallurgi Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya. Mesin yang digunakan adalah mesin uji kekerasan metode brinell.

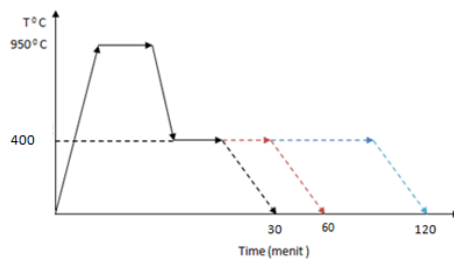
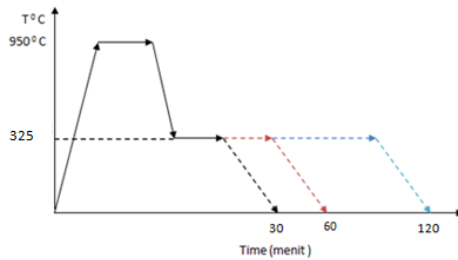
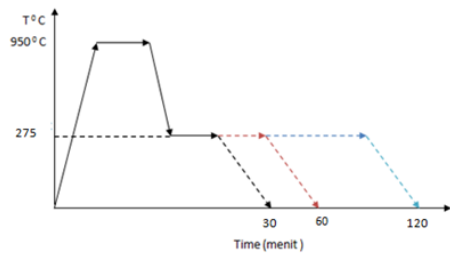


Gambar 3.10 Mesin uji kekerasan

3.4 Langkah-langkah percobaan

3.4.1 Perlakuan panas *Austempering*

Setelah material dibentuk sesuai standar untuk masing masing pengujian, selanjutnya material akan dilakukan proses perlakuan panas *austempering* dengan variasi temperatur dan waktu. Proses *austempering* yaitu material dipanaskan sampai temperatur austenite (900°C) kemudian ditahan selama 60 menit, kemudian dimasukkan kedalam larutan *salt bath* dengan temperatur *austempering* (T_A) 275, 325, dan 400 dan diberi waktu penahanan (*austempering time*) selama 30 menit, 60 menit, dan 120 menit.



Gambar 3.11 Skema Perlakuan panas *austempering*

3.4.2 Pengamatan *metalography*

Setelah material mengalami perlakuan panas *Austempering*, kemudian dilakukan pengamatan metalografi pada material untuk mengamati struktur mikronya. Adapun tahap dari *metalography* adalah sebagai berikut :

1. Gerinda (*Grinding*) & Poles (*Polishing*)

Proses *grinding* pada spesimen , yaitu spesimen digosok dengan menggunakan mesin *grinding* dan kertas gosok dengan grid 80-2000. kemudian spesimen dipoles menggunakan kain wol serta ditaburi bubuk alumina sampai permukaan spesimen mengkilap seperti kaca.

2. Etsa (*Etching*)

Tujuan dari etsa adalah untuk mendapatkan permukaan yang dapat diamati dengan mikroskop optis. Etsa dilakukan dengan mencelupkan material ke dalam *etching reagent* tertentu selama waktu tertentu pula sesuai dengan karakteristik dari jenis *etching reagent* yang digunakan pada material tertentu. adapun *etching reagent* yang digunakan adalah 2% nital selama 3 – 5 detik.

3. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optis.

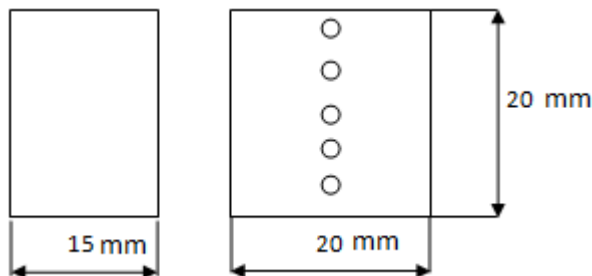
Setelah dilakukan etsa, struktur mikro dari material dapat diamati dengan menggunakan mikroskop optis. Pengambilan gambar struktur mikro dilakukan dengan menggunakan kamera otomatis yang dihubungkan dengan komputer sehingga mampu menangkap gambar secara digital. Pengambilan gambar struktur mikro pada material dengan perbesaran 100x dan 500x pada titik yang ditentukan.

3.4.3 Pengujian *impact*

Metode pengujian *impact* yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Charpy. Pengujian menggunakan tiga spesimen untuk masing-masing varisai. Pengujian *impact* menggunakan beban sebesar 30 kpm. Pada uji *impact*, mula-mula spesimen ditempatkan pada *anvil* dan dial penunjuk diatur ke posisi 0. Kemudian palu dinaikkan dengan sudut sebesar 156° , setelah itu palu dilepas untuk menghantam spesimen uji.

3.4.4 Pengujian kekerasan

Metode pengujian kekerasan yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Brinnel. Pengujian menggunakan satu spesimen untuk masing-masing variasi. Pengujian kekerasan Brinnel menggunakan indenter bola baja yang dikeraskan. Pada uji kekerasan Brinnel, mula-mula permukaan spesimen yang akan diuji ditekan oleh indenter dengan beban awal (*minor load*). Setelah itu penekanan diteruskan dengan memberikan beban utama sebesar 62,5 kp (*major load*) selama beberapa saat, kemudian beban utama dilepas.



Gambar 3.12 Ilustrasi spesimen uji kekerasan.

3.5 Tabel Rancangan Penelitian

Untuk pelaksanaan percobaan, dibawah ini merupakan rancangan percobaan dengan menggunakan dua variabel, yaitu

temperatur *austempering* dan *holding time*, dengan kenaikan temperatur *austempering* dan *holding time* secara bertahap.

Spesimen berupa *Austempered Ductile Iron* dengan variasi temperatur 275, 325, 400°C serta variasi holding time 30, 60, dan 120 menit.

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian

No	Kode	Temperatur	Holding Time	Kekerasan	Impact Strenght	Struktur mikro
		°C	Menit	HBN	Joule/mm ²	
1	As Cast	Tanpa Perlakuan				
2	A11	275	30			
3	A12		60			
4	A13		120			
5	A21	325	30			
6	A22		60			
7	A23		120			
8	A31	400	30			
9	A32		60			
10	A33		120			

BAB IV DATA HASIL PENELITIAN

Dari hasil penelitian pada variasi *holding time* dan temperatur pada proses perlakuan panas *austempering* terhadap material FCD 600 non standar, diperoleh suatu struktur mikro yang berbeda. Sebelum melakukan pengamatan metallography, dilakukan serangkaian persiapan spesimen meliputi proses grinding, polishing dan etsa. Proses etsa dilakukan dengan mencelupkan material kedalam larutan etsa berupa nital (HNO_3 + Alkohol). Untuk memudahkan dalam pengamatan dan analisa struktur mikro yang terjadi, maka akan ditunjukkan oleh foto struktur mikro pada setiap spesimen. Dari hasil pengujian juga didapatkan distribusi *impact strength* dan *Brinell Hardness* pada masing- masing variasi *holding time* dan temperatur.

4.1 Data Pengujian Material awal FCD 600

Pengujian material awal dilakukan untuk membandingkan hasil pengujian material sebelum dan sesudah diberikan perlakuan panas *austempering*, yaitu berupa pengujian unsur kimia, kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro *as cast* FCD 600 non standar yang diperoleh dari pengecoran di PT Merak Megah Steel, Gresik.

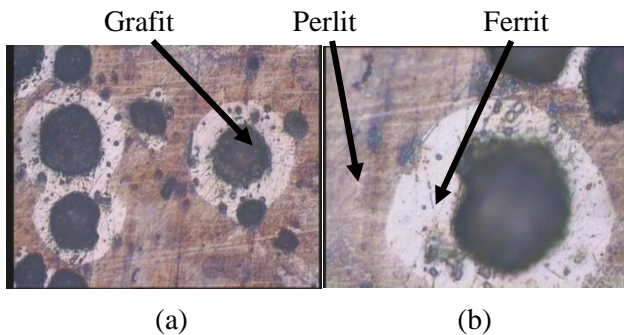
Tabel 4.1 Data hasil pengujian unsur kimia material FCD 600 non standar

	C	Si	<u>Mn</u>	P	Ni	Cr	Mo	S
%	5.67	0.0054	0.512	0.015	0.07	0.24	0.02	2.32

Tabel 4.2 Data hasil pengujian sifat mekanik material as cast FCD 600 non standar

Impact Strenght (Joule/mm²)	Kekerasan (HBN)
0,123	220

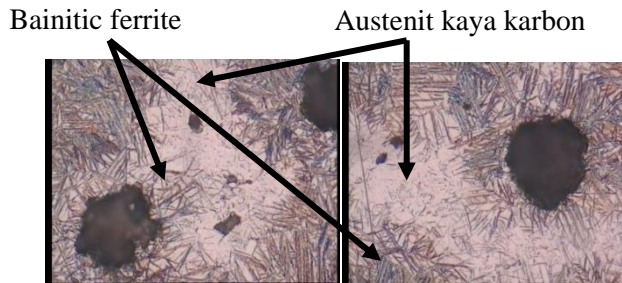
Gambar struktur mikro *as cast* material FCD 600 ditampilkan pada gambar 4.1, dimana terlihat bahwa pada material tersebut memiliki grafit yang berbentuk nodular. Dari gambar tersebut, struktur mikro pembentuk matriks terdiri dari *Ferrite* yang berada disekitar *grafit* dan *Pearlite*.



*Gambar 4.1 Struktur mikro awal FCD 600 (a)perbesaran 200X
(b) perbesaran 500X*

4.2 Struktur Mikro Hasil Austempering

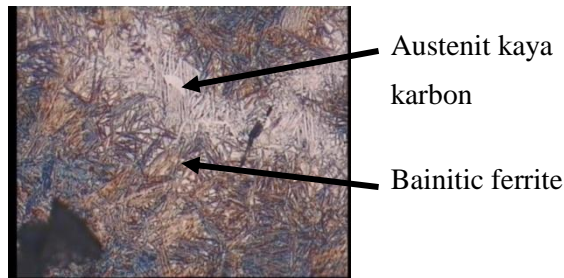
Penelitian yang dilakukan mencakup perlakuan panas *austempering* dengan menggunakan dua macam variasi, yaitu variasi temperatur dan *holding time austempering*. Kedua variasi tersebut berpengaruh terhadap pembentukan struktur mikro terutama terhadap matrik penyusunnya. Berikut ditampilkan struktur mikro hasil perlakuan panas *Austempering* pada masing-masing variasi temperatur dan waktu.



Gambar 4.2 Struktur mikro hasil perlakuan panas Austempering FCD 600 pada 275°C dengan holding time 30 menit Perbesaran 500X

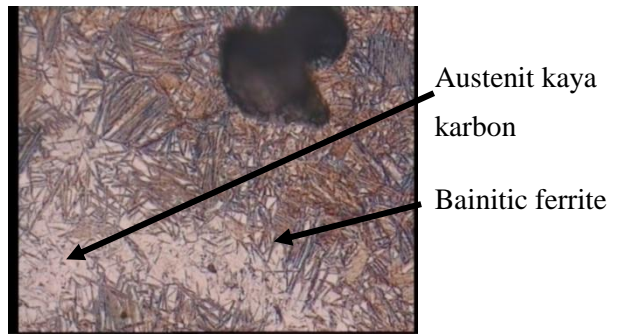


Gambar 4.3 hasil perlakuan panas Austempering FCD 600 pada 275°C dengan holding time 60 menit perbesaran 500X

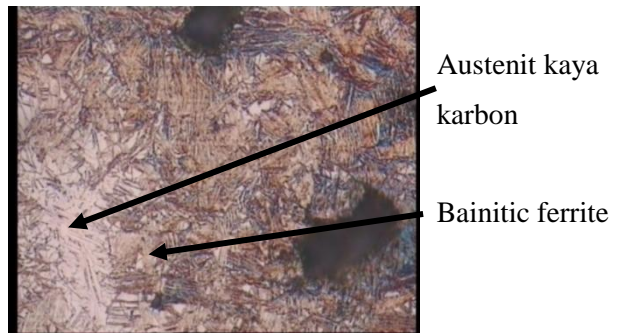


Gambar 4.4 Struktur mikro hasil perlakuan panas Austempering FCD 600 pada 275°C dengan holding time 120 menit Perbesaran 500X

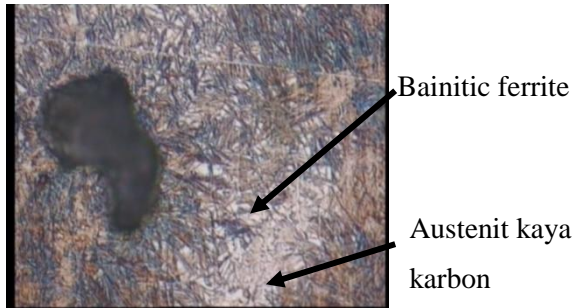
Pada proses *austempering* pada temperatur 275°C, telah tampak perubahan struktur mikro awal yang terdiri dari *pearlite*, *ferrit*, dan *grafit*. Pada temperatur 275 °C terlihat struktur mikro yang terdiri dari *bainitic ferrite* dan *blocky austenite*. *Blocky austenite* merupakan austenit yang tidak bertransformasi menjadi bainit karena waktu *austempering* yang singkat dan cenderung mengandung martensit setelah didinginkan [12]. Dengan pemberian *holding time* selama 30 menit terlihat pada gambar 4.2 struktur mikro terdiri dari *bainitic ferrite* (yang terdiri dari *ferrite* dan *austenite* kaya karbon) dimana setelah dilakukan pengujian kekerasan *micro hardness* pada beberapa titik didapatkan nilai kekerasan *bainitic ferrite* sekitar 300-400 HV. Struktur *bainitic ferrite* tampak menyerupai jarum jarum serta *blocky austenite* yang tampak pada bagian yang berwarna cerah. Setelah dilakukan pengujian *micro hardness* pada *blocky austenite* didapatkan nilai kekerasan dengan kisaran 700 HV. Begitu juga pada *holding time* 60 dan 120 menit terlihat struktur yang terbentuk juga terdiri dari *bainitic ferrite* dan *blocky austenite*.



Gambar 4.5 Struktur mikro hasil perlakuan panas Austempering FCD 600 pada 325°C dengan holding time 30 menit perbesaran 500X

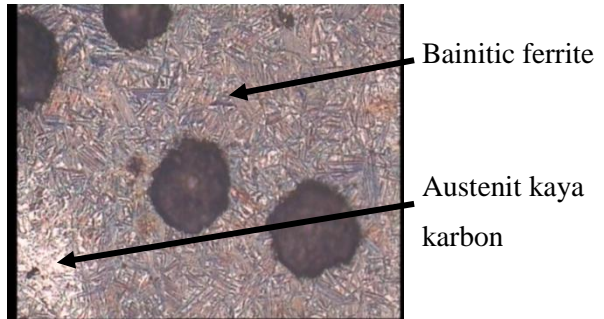


Gambar 4.6 Struktur mikro hasil perlakuan panas Austempering FCD 600 pada 325°C dengan holding time 60 menit perbesaran 500X

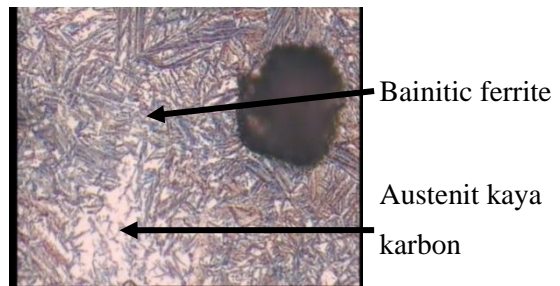


Gambar 4.7 Struktur mikro hasil perlakuan panas Austempering FCD 600 pada 325°C dengan holding time 120 menit perbesaran 500X

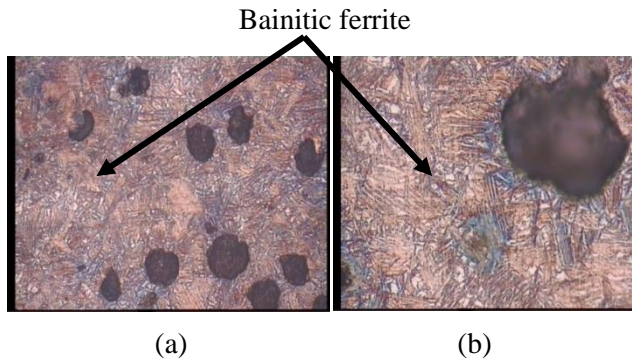
Pada gambar 4.5, gambar 4.6 dan gambar 4.7, merupakan gambar struktur mikro pada perlakuan panas *Austempering* pada temperatur *austempering* 325°C. pada temperatur 325°C, terdapat perbedaan dengan struktur mikro awal maupun pada temperatur *austempering* 275 °C. Pada temperatur 325° C mulai terlihat garis garis halus menyerupai jerami serta terdapat warna cerah pada bagian lain. Garis garis halus tersebut merupakan *bainitic ferrite*. Dengan pemberian holding 30 menit pada gambar 4.5 terlihat struktur *bainitic ferrite* menyerupai jerami dimana setelah dilakukan uji *micro hardness* diperoleh nilai kekerasan pada kisaran 300-400 HVN. *Blocky austenite* nampak pada bagian yang berwarna cerah, dimana setelah dilakukan uji *micro hardness* diperoleh nilai pada kisaran 600-800 HVN. Pada holding time selama 60 dan 120 menit struktur mikro yang terbentuk adalah *bainitic ferrite* dan *blocky austenite* seperti pada gambar 4.6 dan gambar 4.7. Semakin lama *holding time* yang diberikan maka *blocky austenite* yang terbentuk semakin berkurang. Sedangkan jarum *bainitic ferrit* menjadi semakin lebar dan berkumpul.



Gambar 4.8 Struktur mikro hasil perlakuan panas Austempering FCD 600 pada 400°C dengan holding time 30 menit perbesaran 500X



Gambar 4.9 Struktur mikro hasil perlakuan panas Austempering FCD 600 pada 400°C dengan holding time 60 menit perbesaran 500X

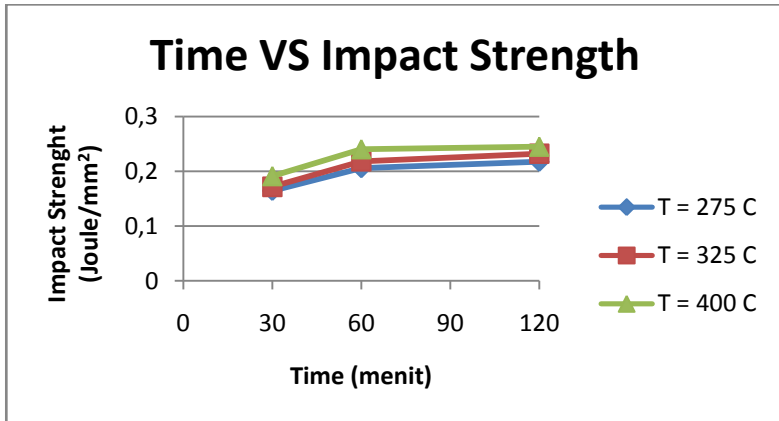


Gambar 4.10 Struktur mikro hasil perlakuan panas Austempering FCD 600 pada 400°C dengan holding time 120 menit (a) perbesaran 200X (b) Perbesaran 500X

Pada proses *austempering* pada temperatur 400 °C tampak perubahan dari struktur mikro awal yang terdiri dari *pearlite*, *ferrite*, dan *grafit*. Butiran yang terbentuk pada temperatur 400 °C terlihat stabil dari segi ukuran maupun distribusinya. Dengan pemberian *holding time* 30 menit pada gambar 4.8, tampak struktur mikro yang terbentuk adalah *bainitic ferrit* dan *blocky austenite*. Begitu juga pada *holding time* 60 dan 120 menit, terlihat *bainitic ferrit* yang lebih berkumpul dimana setelah dilakukan pengujian *micro hardness* didapatkan nilai kekerasan dengan kisaran nilai sekitar 300 HV. Struktur *blocky austenite* mulai tidak terlihat lagi pada *holding time* 120 menit.

4.3 Pengaruh Terhadap *Impact Strength*

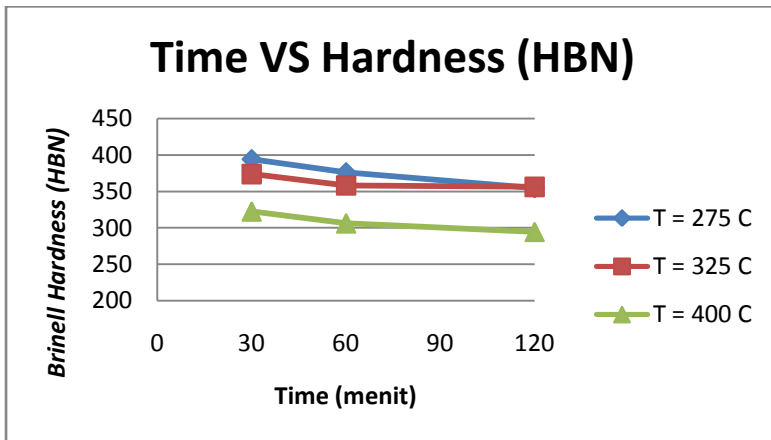
Dari hasil pengujian *impact* pada masing-masing spesimen, diperoleh data nilai *impact strenght* untuk masing-masing spesimen. Pengujian *impact* ini menggunakan mesin uji *impact* yang terdapat di workshop Teknik Mesin ITS. Berikut ini grafik pengaruh temperatur *austempering* terhadap nilai *impact strenght* hasil perlakuan panas *austempering* FCD 600 pada masing-masing variasi.



Gambar 4.11 Pengaruh holding time terhadap nilai impact strenght

4.4 Pengaruh Terhadap Kekerasan

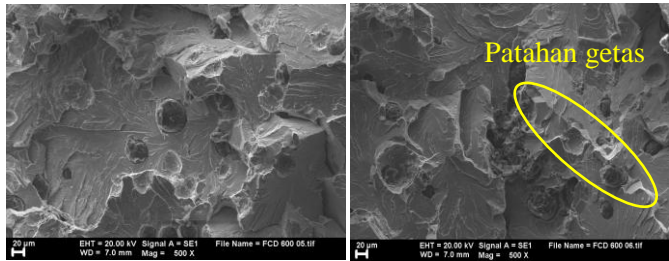
Berikut ini tabel pengaruh temperatur *austempering* terhadap nilai kekerasan *brinell* dari spesimen hasil perlakuan panas pada masing-masing variasi temperatur dan waktu. Pengujian kekerasan ini menggunakan mesin uji kekerasan *brinell* yang berada di laboratorium Jurusan Teknik Mesin ITS. Pengujian ini menggunakan metode *Brinell* dengan beban 187.5 Kp dan menggunakan indenter bola baja yang dikeraskan. Untuk mendapatkan harga kekerasan tersebut, dilakukan 5 kali indentasi pada penampang melintang spesimen.



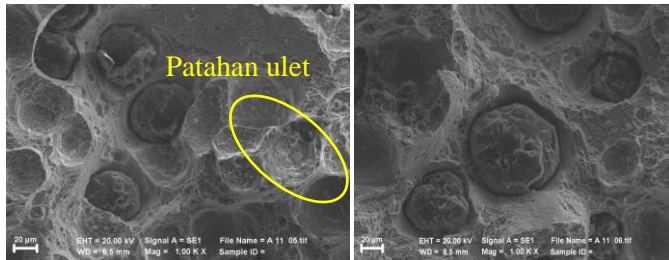
Gambar 4.12 Pengaruh holding time terhadap nilai kekerasan (HBN)

4.5 Data Hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM)

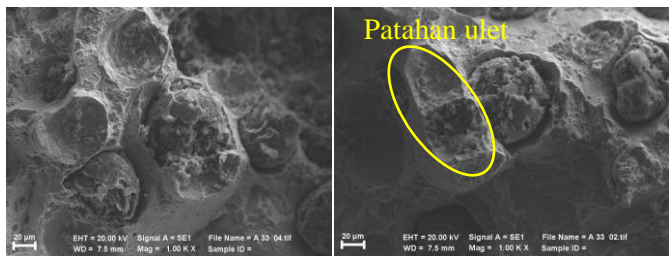
Untuk melihat karakter pola patahan apakah material itu getas atau ulet dari hasil perlakuan panas, dilakukan pengujian SEM untuk mengetahui perbedaan material yang getas dan yang lebih ulet. Untuk pengujian ini diambil satu sampel dari material yang paling getas, satu sampel dari material yang paling ulet serta sampel material tanpa perlakuan (*as cast*). Dari data hasil pengujian *impact* diatas, material yang dianggap paling getas adalah material yang nilai *impact strenght* paling kecil, yaitu pada material dengan temperatur 275°C serta *holding time* 30 menit. Sedangkan material paling ulet adalah material dengan *impact strenght* paling besar, yaitu pada temperatur 400°C serta *holding time* 120 menit. berikut ini adalah gambar hasil pengujian SEM pada masing-masing material tersebut.



Gambar 4.13 Hasil pengujian SEM pada penampang pola patahan As Cast



Gambar 4.14 Hasil pengujian SEM pada penampang pola patahan temperatur austempering 275 °C



Gambar 4.125 Hasil pengujian SEM pada penampang pola patahan temperatur austempering 400 °C

Micrograf SEM dari permukaan patahan spesimen ditunjukkan pada gambar 4.13 , 4 .14 dan 4.15. Pola patahan pada gambar 4.14 dan 4.15 tidak terdapat perbedaan yang mencolok . Oleh karena itu gambar 4.13 digunakan sebagai pembanding. Pada gambar 4.13 menunjukkan pola patahan getas yang menunjukkan bahwa spesimen tanpa perlakuan (*as cast*) bersifat getas. Sedangkan pada gambar 4.14 dan 4.15 menunjukkan pola patahan *dimple* yang menunjukkan bahwa kedua spesimen tersebut bersifat ulet. Pada gambar 4.14 dapat dilihat bahwa pola patahan pada spesimen tersebut lebih landai jika dibandingkan dengan spesimen 4.15 sehingga spesimen pada gambar 4.15 lebih ulet dibandingkan dengan spesimen pada gambar 4.14.

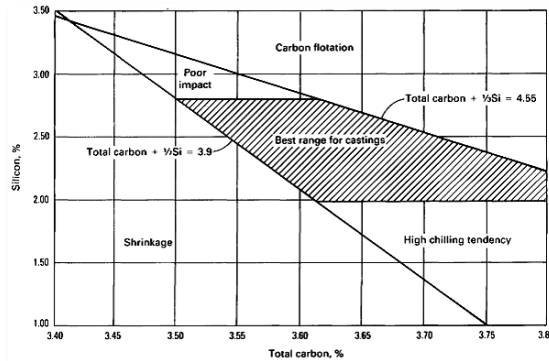
BAB V

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data hasil penelitian pada BAB IV maka akan dibuat beberapa analisa pengaruh temperature dan *holding time* pada proses *austempering*, dimana analisa tersebut berdasarkan dari data struktur mikro. Selain itu akan dibuat analisa pengaruh adanya perubahan fase yang terjadi setelah proses austempering terhadap *impact strength* dan kekerasan, yang didukung oleh data struktur mikro.

Dari hasil pengujian unsur kimia pada material FCD 600, terlihat persentase unsur kimia yang tidak sesuai dengan standar JIS G5502. Salah satu unsur kimia yang tidak sesuai yaitu persentase karbon. Berdasarkan standar JIS G5502, persentase kandungan karbon untuk besi tuang nodular FCD 600 adalah 3.5%-4 %. Sedangkan berdasarkan standar yang diterapkan oleh PT. Merak Megah Steel, standar yang digunakan untuk pembuatan besi tuang FCD 600 yaitu dengan persentase kandungan karbon sebesar 3.5%-3.8%. Setelah dilakukan pengujian unsur kimia pada material FCD 600 hasil pengecoran didapatkan nilai kandungan karbon yang tidak sesuai dengan standar. Persentase kandungan karbon hasil pengujian FCD 600 tersebut yaitu 5.67 %, jauh diatas persentase kandungan karbon yang dianjurkan sesuai beberapa standar diatas. Peningkatan jumlah persentase karbon akan meningkatkan jumlah fraksi grafit serta mengurangi jumlah fraksi fase austenit pada saat proses pembentukan grafit pada FCD 600 yang nantinya akan bertransformasi menjadi matriks *bainitic ferrite* dan austenit kaya karbon saat proses *austempering*. Dengan berkurangnya jumlah fraksi matriks yang terbentuk maka dapat menyebabkan penurunan nilai keuletan pada FCD 600. Selain itu penambahan persentase karbon pada FCD 600 dapat menimbulkan *graphite flotation* pada saat pengecoran . *Graphite flotation* dapat mengurangi sifat mekanik pada bagian didekat permukaan benda

coran karena grafit akan berkumpul didekat permukaan benda coran akibat massa jenis grafit yang lebih rendah dari besi cor.



Gambar 5.1 Persentase karbon dan silikon untuk besi tuang nodular[16]

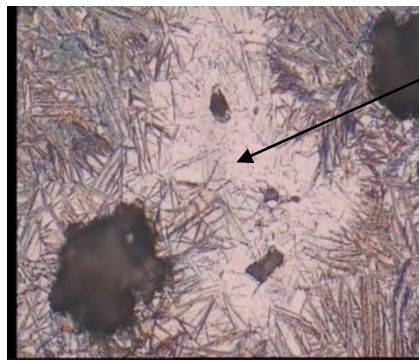
5.1 Pengaruh Holding Time dan Temperatur Terhadap Struktur Mikro

Gambar struktur mikro *as cast* material FCD 600 ditampilkan pada gambar 4.1, dimana terlihat bahwa pada material tersebut memiliki grafit yang berbentuk nodular. Pada gambar 4.1 struktur mikro pembentuk matriks terdiri dari *pearlite* dan *ferrite* yang mengelilingi grafik. Setelah dilakukan proses perlakuan panas *austempering* dengan variasi temperatur dan *holding time*, terdapat perubahan struktur mikro *as cast* dengan struktur mikro hasil perlakuan panas *austempering*.

Pada proses *austempering* dengan temperatur 275°C, terlihat perubahan dari struktur mikro *as cast* yang terdiri dari *ferrite*, *pearlite*, dan *graphite*. Dengan pemberian *holding time* selama 30 menit pada gambar 4.2 terlihat struktur mikro yang terbentuk adalah *bainitic ferrite* yang terdiri dari *ferrite* (α) dan *austenite* kaya karbon (γ_{Hc}). Bainit yang terbentuk menyerupai jarum jarum (*needle-like / acicular*) typical *lower bainite*. *Lower bainite* biasanya terbentuk pada temperatur rendah (235 °C -

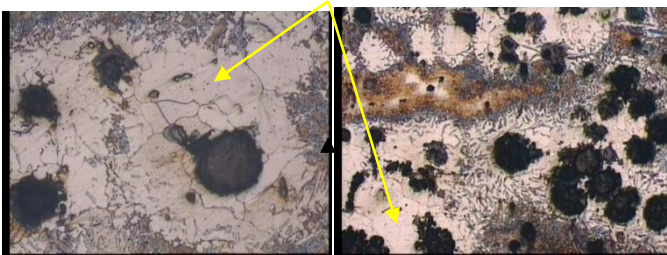
330°C) [4,6]. Selain itu, juga terdapat struktur *blocky austenite* (bagian berwarna cerah) yang mempunyai kekerasan lebih tinggi dari bainit. Setelah dilakukan pengujian *micro hardness*, *blocky austenite* mempunyai nilai kekerasan yang tinggi karena *blocky austenite* cenderung mengandung fase martensite [9]. Begitu juga pada *holding time* selama 60 dan 120 menit tampak pada gambar 4.3 dan 4.4, struktur mikro yang terbentuk adalah *bainitic ferrite* dan *blocky austenite*.

Selain terbentuk struktur *bainitic ferrite* dan *blocky austenite*, pada temperatur 275 °C juga ditemukan struktur *retained austenite* pada beberapa titik seperti yang terlihat pada gambar 5.2. terlihat *retained austenite* berwarna paling cerah. Setelah dilakukan pengujian *micro hardness*. *retained austenite* mempunyai nilai kekerasan lebih rendah daripada *blocky austenite* maupun *bainitic ferrite*, yaitu 200 -250 HV. sehingga dengan adanya struktur *retained austenite* dapat menambah keuletan material tersebut.



Blocky austenite

Gambar 5.2 Struktur *Blocky austenite*

Retained austenite*Gambar 5.3 Struktur retained austenite*

Pada proses temperatur *austempering* 325°C nampak perubahan struktur mikro *as cast* yang terdiri dari *ferrite*, *pearlite*, dan *graphite*. Dengan pemberian *holding time* selama 30 menit pada gambar 4.5, struktur mikro yang terbentuk adalah *bainitic ferrite* yang terdiri dari *ferrite* dan *high carbon austenite*. Bainite tampak menyerupai jarum-jarum tapi lebih lebar dibandingkan bainite pada temperatur 275°C . *Blocky austenite* tampak dengan bagian yang berwarna putih. Begitu juga pada *holding time* 60 dan 120 pada gambar 4.6 dan 4.7, struktur mikro yang terbentuk adalah bainite dan *blocky austenite*. Semakin lama *holding time*, bainit yang terbentuk akan semakin mengumpul dan *Blocky austenite* yang terbentuk semakin sedikit.

Pada proses *austempering* 400°C , juga terdapat perubahan dari struktur mikro *as cast* yang terdiri dari *ferrite*, *pearlite*, dan *graphite*. Dengan pemberian *holding time* selama 30 menit pada gambar 4.8, struktur mikro yang terbentuk adalah *bainitic ferrite* yang terdiri dari *ferrite* dan *austenite kaya karbon*. Tampak *blocky austenite* berwarna putih. Struktur bainite yang terbentuk mulai lebih gelap dan lebih lebar menyerupai *plate bainite* / *coarse bainite* typical *Upper Bainite*. *Upper Bainite* terbentuk pada temperatur yang lebih tinggi (370°C - 400°C) [6]. Pada temperatur yang tinggi, laju difusi karbon yang terjadi akan semakin tinggi, sehingga *austenite* kaya karbon yang terbentuk menjadi lebih banyak. Demikian juga pada *holding time* selama

60 dan 120 menit pada gambar 4.9 dan 4.10, struktur mikro yang terbentuk adalah *bainite ferrite* dan *blocky austenite*. Dari gambar 4.9 dan 4.9 terlihat semakin lama holding time, bainite yang terbentuk semakin banyak dan *blocky austenite* semakin berkurang. Pada holding time 120 menit tidak terlihat struktur *blocky austenite*.

5.2 Pengaruh Holding Time dan Temperature Terhadap Impact Strength

Impact Strength material hasil *austempering* dipengaruhi oleh temperatur *austempering* serta holding time yang digunakan selama proses perlakuan panas. Pada gambar 4.11 ditampilkan grafik hubungan holding time *austempering* terhadap harga *impact strength* yang diperoleh dari material *as cast* dan setelah proses *austempering* dengan holding time masing masing 30, 60, dan 120 menit. Dari grafik 4.11 tersebut juga bisa dilihat pengaruh temperatur *austempering* terhadap nilai *impact strength*.

Harga *impact strength* material *as cast* FCD 600 adalah $0,124 \text{ Joule/mm}^2$. Dari gambar 4.11 tersebut tampak bahwa material FCD 600 mengalami kenaikan harga *impact strength* setelah mengalami proses *austempering*. Harga *impact strength* tertinggi terjadi pada temperatur 400°C . sedangkan harga *impact strength* paling rendah terjadi pada temperatur 275°C .

Selain dipengaruhi oleh temperatur *austempering*, perubahan *impact strength* juga dipengaruhi oleh holding time. Pada temperatur 275°C , nilai *impact strength* paling kecil terjadi pada holding time 30 menit, selanjutnya nilai *impact strength* mengalami kenaikan pada holding time 60 menit dan 120 menit. Pada temperatur 325°C , nilai *impact strength* paling kecil terjadi pada holding time 30 menit, selanjutnya nilai *impact strength* mengalami kenaikan pada holding time 60 menit dan holding time 120 menit. Pada temperatur 400°C , nilai *impact strength* paling kecil terjadi pada holding time 30 menit, selanjutnya nilai *impact strength* kenaikan pada holding time 60 menit . Nilai *impact*

strength mengalami peningkatan yang tidak terlalu signifikan pada *holding time* 120 menit yang merupakan nilai *impact strength* paling tinggi. Pola grafik pada gambar 4.11 memiliki kesamaan dengan hasil penelitian terdahulu oleh Adli M.R [14]. Dalam penelitian tersebut, material FCD 50 mengalami peningkatan nilai energi *impact* seiring bertambahnya temperatur *austempering* dan *holding time*.

Nilai *impact strength* tersebut sesuai dengan hasil pengujian SEM pada masing masing permukaan patahan material hasil perlakuan *austempering* yang paling getas dan yang paling ulet. Dari nilai *impact strength* dapat diketahui bahwa material hasil perlakuan *austempering* yang paling getas adalah material dengan temperatur *austempering* 275°C dengan *holding time* 30 menit. Sedangkan material hasil perlakuan *austempering* paling ulet adalah material dengan temperatur *austempering* 400°C *holding time* 120 menit. Dari gambar hasil pengujian SEM, gambar 4.14 dan gambar 4.15 memiliki pola patahan ulet (*dimple*) dengan matrik *bainitic ferrite* yang mengelilingi grafit. Pada gambar 4.14 memiliki pola patahan yang lebih landai jika dibandingkan dengan pola patahan pada gambar 4.15.

Apabila dihubungkan dengan struktur mikro, nilai *impact strength* paling tinggi terjadi pada temperatur 400 °C karena struktur bainite yang terbentuk jumlahnya semakin banyak, sedangkan struktur *blocky austenite* yang cenderung mengandung fase martensite semakin berkurang. Pada temperatur yang tinggi (370°C-400°C) tipe bainit yang terbentuk adalah *upper bainite* (*coarse bainit*) yang mempunyai keuletan yang lebih besar daripada *lower bainite* [6]. Pada gambar 4.10 dapat terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk hampir seluruhnya *bainitic ferrite*. Pada temperatur *austempering* 275 °C mempunyai *impact strength* yang paling rendah diakibatkan oleh struktur mikro *blocky austenite* yang menambah kekerasan pada material tersebut.

5.3 Pengaruh *Holding Time* dan *Temperature* Terhadap Kekerasan

Pada gambar 4.12 pada bab sebelumnya ditampilkan grafik hubungan temperatur *austempering* terhadap harga kekerasan yang diperoleh dari material *as cast* dan setelah proses *austempering* dengan variasi temperatur dan *holding time*.

Harga kekerasan material *as cast* FCD 600 adalah 220 HBN. Dari gambar 4.12 tampak bahwa material FCD 600 mengalami kenaikan harga kekerasan setelah mengalami proses *austempering*. Dari grafik tersebut juga dapat dilihat pengaruh temperatur *austempering* terhadap nilai kekerasan. Harga kekerasan tertinggi terjadi pada temperatur 275°C. Selanjutnya mengalami penurunan nilai kekerasan dengan bertambahnya temperatur *austempering*. Nilai kekerasan paling rendah terjadi pada temperatur 400°C. Dari gambar 4.12 dapat dilihat pengaruh *holding time* terhadap nilai kekerasan pada masing masing temperatur *austempering*. Pada masing-masing temperatur *austempering*, nilai kekerasan paling tinggi terjadi pada *holding time* 30 menit. Selanjutnya mengalami penurunan seiring bertambahnya *holding time* dan nilai kekerasan paling rendah terjadi pada *holding time* 120 menit. Pola grafik kekerasan tersebut sama dengan hasil penelitian terdahulu oleh Adli M.R [14]. Dalam penelitiannya, material FCD 50 mengalami peningkatan kekerasan setelah mengalami proses *austempering*. nilai kekerasan semakin menurun seiring bertambahnya temperatur *austempering* dan *holding time*.

Apabila dihubungkan dengan struktur mikro, Dari gambar 4.12 diatas nilai kekerasan semakin menurun dengan semakin bertambahnya temperature *austempering*. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada temperatur 275°C karena masih sedikitnya struktur *bainitic ferrite* yang terbentuk. Selain itu, Pada temperatur rendah (230°C-330°C), tipe bainite yang terbentuk adalah *lower bainite (needle-like)* yang memiliki nilai kekerasan yang sangat tinggi (mencapai 500 HV) [4,6]. Sebaliknya, pada

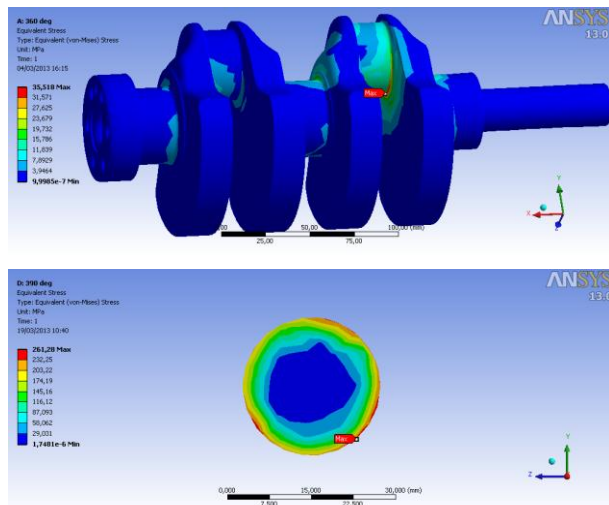
temperatur yang tinggi (370°C - 400°C) terbentuk *Upper bainite* (*coarse bainite*) yang memiliki nilai kekerasan yang rendah (280-320 HB) [6]. Temperatur *austempering* yang semakin tinggi akan menyebabkan proses difusi karbon kedalam austenit semakin cepat, sehingga jumlah austenit yang terbentuk akan semakin banyak dan semakin stabil. Austenit kaya karbon ini bersifat ulet sehingga kekerasan akan turun. Seiring dengan naiknya *austempering time*, nilai kekerasan cenderung menurun akibat proses pembentukan bainitic ferrite dan austenit kaya karbon, sedangkan *blocky austenite* semakin berkurang. Hal ini sesuai dengan *isothermal transformation* untuk *ductile iron* pada gambar 2.5. dimana semakin lama holding time maka akan terbentuk *bainitic ferrit* semakin banyak. Akan tetapi apabila *holding time* terlalu lama, maka transformasi akan memasuki tahap kedua dan akan terbentuk karbida yang sifatnya keras dan getas. Pada penelitian ini, *holding time* yang digunakan paling lama adalah 120 menit dan belum menunjukkan terbentuknya karbida. Karbida akan mulai terbentuk apabila *holding time* pada saat proses *austempering* lebih dari 120 menit [13].

5.4 Austempered Ductile Iron FCD 600 Sebagai Material Crankshaft Mesin Sinjai

Material awal yang digunakan untuk pembuatan crankshaft mesin SINJAI adalah FCD 600. Sedangkan pada penelitian ini FCD 600 yang digunakan tidaklah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, oleh karena itu dilakukan simulasi dengan menggunakan ansys untuk melihat besarnya tegangan yang bekerja pada *crankshaft* agar dapat dibandingkan dengan besarnya nilai kekuatan pada FCD 600 non standar.



Gambar 5.4 Crankshaft FCD 600 Mesin Sinjai PT. Merak Megah Steel



Gambar 5.5 Analisa Tegangan Maksimal Pada Crankshaft Mesin Sinjai

Berdasarkan analisa *ansys* pada gambar 5.4 diatas, tegangan maksimal yang terjadi pada *crankshaft* mesin sinjai adalah sebesar 261 MPa. Berdasarkan hasil pengujian material awal *as cast* FCD 600 non standar pada penelitian Moh. Sofyan [15] pada tahun 2014 memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 782

MPa dengan elongation 3.05 %, sedangkan nilai kekerasannya sebesar 220 HBN. Sedangkan untuk material FCD 600 sesuai dengan standart JIS G5502 memiliki kekuatan tarik sebesar 600 MPa dengan *elongation* 3%, sedangkan nilai kekerasannya antara 192 hingga 269 HBN. Dapat diambil kesimpulan bahwa material *as cast* FCD 600 non standar telah memenuhi kriteria untuk diaplikasikan pada *crankshaft* mesin SINJAI karena FCD 600 non standar memiliki kekuatan , *elongation* dan kekerasan diatas FCD 600 standar serta nilai kekuatan tarik FCD 600 non standar masih jauh diatas nilai tegangan maksimal hasil analisa *ansys* pada struktur *crankshaft* mesin SINJAI.

Lampiran 1

KOMPOSISI KIMIA

Tabel Standart Komposisi Kimia PT Merak Megah Steel

MERAK MEGAH STEEL						
	C	Si	Mn	P	S	CE
FC 150	3.70 3.60 - 3.80	2.10 1.90 - 2.30	0.40 0.40 - 0.60	< 0.08	<0.08	4.42
FC 200	3.50 3.35 - 3.65	2.00 1.80 - 2.20	0.50 0.40 - 0.60	"	"	4.19
FCD 450	3.70 3.60 - 3.80	2.20 2.00 - 2.40	0.40 0.30 - 0.50	"	"	4.44
FCD 500	3.70 3.60 - 3.80	2.10 2.00 - 2.20	0.60 0.40 - 0.70	"	"	4.41
FCD 600	3.60 3.5 - 3.70	2.00 1.90 - 2.10	0.80 0.70 - 0.90	"	"	4.29

Tabel Hasil Pengujian Komposisi Kimia FCD 600

11/6/2013 11:10:32 AM Samples: C IRON										
Program: LASTEEL Task: LASTEEL										
Run	FE%	C	Mn	P	S	Si	Sn	Al	Alsol	
Avg	90.9975	5.65711	0.51204	0.01519	0.00548	2.32721	0.00835	0.00930	0.0088	
	Cr	Cu	Ni	Nb	V	Pb	Ca	Mo	Co	
Avg	0.24509	0.09669	0.07153	0.00015	0.00191	0.00178	0.00052	0.02080	0.00483	
	B	W	N	Ti	Te	F	CE	TS		
Avg	0.00047	0.00359	0.01408	0.00774	-0.00139	0.952	5.807	602.223		

Lampiran 2

SPECIFICATIONS

GRAY CAST IRONS

ISO	JIS	ASTM	DIN	AS	CHEMICAL COMPOSITION											MECHANICAL PROPERTY			
					C %	Si %	Mn %	P %	S %	Ni %	Cr %	Mo %	V %	Other %	Tensile Strength N/mm ²	Proof Stress N/mm ²	Elongation %	Hardness HB	
185 150	G 5501 FC 150	A 48 20	1691 GG 10	1830 T-150	3.50 3.80	2.30 2.80	0.50 0.80	0.25 max	0.10 max	-	-	-	-	-	150 min	-	-	-	
185 200	G 5501 FC 200	A 48 30	1691 GG 15	1830 T-220	3.30 3.60	1.80 2.30	0.60 0.90	0.30 max	0.10 max	-	-	-	-	-	200 min	-	-	-	
185 250	G 5501 FC 250	A 48 35	1691 GG 20	1830 T-260	3.20 3.50	1.70 2.20	0.60 0.90	0.15 max	0.10 max	-	-	-	-	-	250 min	-	-	-	
185 300	G 5501 FC 300	A 48 45	1691 GG 25	1830 T-300	3.10 3.30	1.60 2.10	0.60 0.90	0.12 max	0.10 max	-	-	-	-	-	300 min	-	-	-	

GRAY CAST IRONS

ISO	JIS	ASTM	DIN	AS	CHEMICAL COMPOSITION											MECHANICAL PROPERTY			
					C %	Si %	Mn %	P %	S %	Ni %	Cr %	Mo %	V %	Other %	Tensile Strength Nmm ²	Proof Stress Nmm ²	Elongation %	Hardness HB	
1083 400-15,18	G 5502 FCD 400	A536-84 60-40-18	1693 GGG-40	1831 400-12	3.50 4.00	2.00 2.70	0.30 max	0.05 max	0.02 max	-	-	-	-	-	400 min	250 min	12 min	201 min	
1083 450-10	G 5502 FCD 450	A536-84 60-42-10	-	-	3.50 4.00	2.00 2.70													
1083 500-7	G 5502 FCD 500	A536-84 80-55-06	1693 GGG-50	1831 500-7	3.50 4.00	2.00 2.50	0.40 0.50	0.06 max	0.02 max	-	-	-	-	-	450 min	280 min	10 min	143-217	
1083 600-3	G 5502 FCD 600	A536-84 80-60-03	1693 GGG-60	1831 600-3	3.50 4.00	2.00 2.50	0.50 0.80	0.06 max	0.02 max	-	-	-	-	-	500 min	320 min	7 min	170-241	
1083 700-2	G 5502 FCD 700	A536-84 100-70-03	1693 GGG-70	1831 700-2	3.50 4.00	2.00 2.50	0.50 0.90	0.06 max	0.02 max	-	-	-	-	-	600 min	370 min	3 min	192-269	
1083 700-2	G 5502 FCD 700	A536-84 100-70-03	1693 GGG-70	1831 700-2	3.50 4.00	2.00 2.50	0.50 0.90	0.06 max	0.02 max	-	-	-	-	-	700 min	420 min	2 min	229-302	

Lampiran 3 :

TABEL HASIL UJI IMPACT

Temperatur (°C)	Time (Menit)	Energi (Kpm)	β	Energi (Joule)	Impact Strength (Joule/mm ²)
AS CAST		1,5	146	14,709	0,14709975
		1,2	147	11,767	0,1176798
		1,5	146	14,709	0,14709975
		0,85	149	8,3356	0,083356525
275	30	1,8	143	17,651	0,1765197
		1,7	143,5	16,671	0,16671305
		1,6	144	15,690	0,1569064
		1,6	144	15,690	0,1569064
	60	1,5	145	14,709	0,14709975
		2	141,5	19,613	0,196133
		2,8	135	27,458	0,2745862
		2	141,5	19,613	0,196133
	120	2,7	138	26,477	0,26477955
		1,95	142	19,122	0,191229675
		2,4	138,5	23,535	0,2353596
		2,3	140	22,555	0,22555295
325	30	2,1	141	20,593	0,20593965
		1,6	144	15,690	0,1569064

			1,6	144	15,690	0,1569064
			1,7	143,5	16,671	0,16671305
		60	1,5	145	14,709	0,14709975
			2,85	137	27,948	0,279489525
			2,25	139	22,064	0,220649625
			2,3	140	22,555	0,22555295
		120	2,7	138	26,477	0,26477955
			2,2	141	21,574	0,2157463
			2,2	141,5	21,574	0,2157463
			1,7	143,5	16,671	0,16671305
	400	30	1,8	143	17,651	0,1765197
			2,4	139,5	23,535	0,2353596
			1,8	143	17,651	0,1765197
			1,8	143	17,651	0,1765197
		60	2,4	139,5	23,535	0,2353596
			3	136	29,419	0,2941995
			2	141,5	19,613	0,196133
			2,4	139,5	23,535	0,2353596
		120	3,2	135	31,381	0,3138128
			2,3	140	22,555	0,22555295
			2,3	140	22,555	0,22555295
			2,2	141,5	21,574	0,2157463

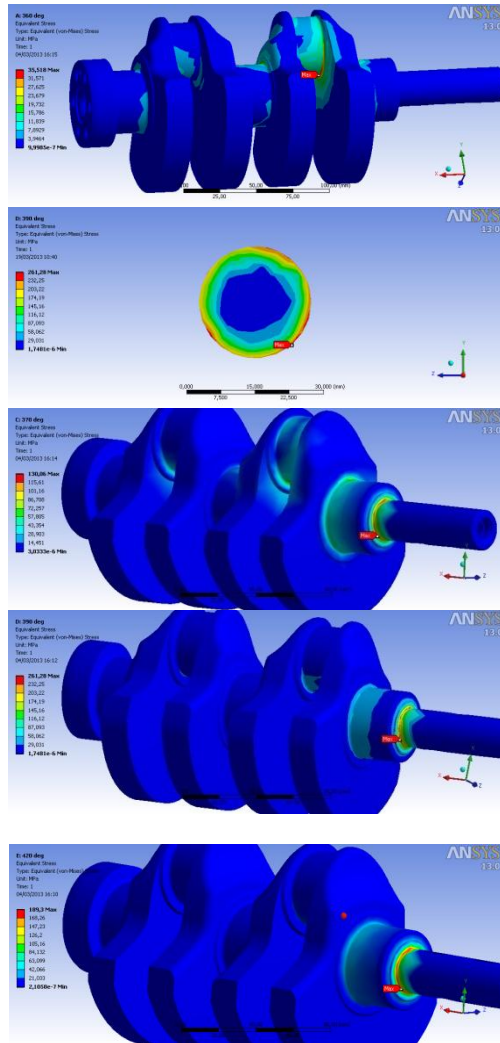
Lampiran 4 :**TABEL HASIL UJI KEKERASAN BRINEL**

Temperatur (°C)	Time (menit)	Kode	Titik	Diameter (mm)	Kekerasan (BHN)	Kekerasan rata-rata (HBN)
270	30	A11	titik 1	0.75	414.85	394.27
			titik 2	0.75	414.85	
			titik 3	0.75	414.85	
			titik 4	0.8	363.40	
			titik 5	0.8	363.40	
	60	A12	titik 1	0.77	393.06	376.30
			titik 2	0.78	382.79	
			titik 3	0.82	345.40	
			titik 4	0.82	345.40	
			titik 5	0.75	414.85	
	120	A13	titik 1	0.81	354.23	354.36
			titik 2	0.82	345.40	
			titik 3	0.82	345.40	
			titik 4	0.8	363.40	
			titik 5	0.8	363.40	
325	30	A21	titik 1	0.8	363.40	373.69
			titik 2	0.8	363.40	
			titik 3	0.8	363.40	
			titik 4	0.75	414.85	
			titik 5	0.8	363.40	
	60	A22	titik 1	0.79	372.91	358.03
			titik 2	0.8	363.40	
			titik 3	0.81	354.23	

			titik 4	0.81	354.23	
			titik 5	0.82	345.40	
	120	A23	titik 1	0.82	345.40	356.20
			titik 2	0.82	345.40	
			titik 3	0.8	363.40	
			titik 4	0.8	363.40	
			titik 5	0.8	363.40	
400	30	A31	titik 1	0.85	320.75	322.33
			titik 2	0.85	320.75	
			titik 3	0.85	320.75	
			titik 4	0.84	328.67	
			titik 5	0.85	320.75	
	60	A32	titik 1	0.85	320.75	306.15
			titik 2	0.85	320.75	
			titik 3	0.88	298.57	
			titik 4	0.9	285.00	
			titik 5	0.87	305.71	
	120	A33	titik 1	0.88	298.57	294.57
			titik 2	0.9	285.00	
			titik 3	0.88	298.57	
			titik 4	0.87	305.71	
			titik 5	0.9	285.00	

Lampiran 5

HASIL ANSYS ANALISA TEGANGAN CRANKSHAFT



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa data dan pembahasan, bisa diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Material *as cast* FCD 600 memiliki struktur mikro *ferrite*, *pearlite* dan grafit nodular mengalami perubahan struktur mikro setelah mengalami proses *austempering* menjadi struktur mikro *bainitic ferrite*, *austenit* kaya karbon, *blocky austenite*, dan *retained austenite*.
2. Setelah proses perlakuan panas *austempering*, material FCD 600 mengalami peningkatan harga *impact strength* dibandingkan dengan material *as cast*.
3. Nilai *impact strength* material setelah melalui proses perlakuan panas *austempering* meningkat seiring kenaikan temperatur *austempering* dan *holding time*.
4. Setelah proses perlakuan panas *austempering*, material FCD 600 mengalami peningkatan harga kekerasan dibandingkan dengan material *as cast*.
5. Nilai kekerasan material setelah melalui proses perlakuan panas *austempering* menurun seiring kenaikan temperatur *austempering* dan *holding time*.
6. Presentase kandungan karbon pada material FCD 600 sebesar 5,67% melebihi standar yang telah ditentukan oleh JIS G5502 sebesar 3,6%.

6.2 Saran

1. Penentuan komposisi material pada saat pengecoran disesuaikan dengan standart yang ada untuk masing masing material.

2. Nilai kandungan karbon masih terlalu tinggi sehingga menyebabkan material tersebut menjadi gatas.
3. Perlu dilakukan pengujian mekanik lainnya seperti pengujian *fatigue* untuk mengetahui material FCD 600 tersebut layak atau tidak digunakan untuk material *crankshaft* mesin Sinjai.

DAFTAR PUSTAKA

1. Avner, Sydney H, introduction to physical Metallurgy, second edition McGraw-Hill International Book Company, Tokyo, 1982.
2. Callister, Materials Science and Engineering An Introduction, seventh edition.
3. Web page for ADI the information available online at <http://www.ductile.org/>
4. Evaluation of Impact and Fatigue properties of Austempered Ductile Iron Marco DC, Evaluation of Impact and Fatigue properties of Austempered Ductile Iron, Department of Materials and Manufacturing Technology Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden 2009
5. Available online at [http://www.msm.cam.ac.uk/phase trans/2001/adi/cast.iron.html](http://www.msm.cam.ac.uk/phase%20trans/2001/adi/cast.iron.html)
6. Austempered ductile-iron castings- advantages, production, properties and Specifications, MATERIALS & DESIGN Vol. 13 No. 5 1992
7. Bahmani, M., Elliot, R., Varahram, N., “The Austempering Kinetics and Mechanical Properties of an Austempered Cu–Ni–Mo–Mn Alloyed Ductile Iron”, Journal of Material Science, 32, pp. 4783-4791, 1997.
8. JIS Hand Book Vol 6, 2006, Tokyo, Japan.
9. ASM Hand Book Hand Vol 4
10. Bagus Sarwo A, “Pengaruh Holding Time Proses Austempering Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan Material FCD 50”, Surabaya, 2007.
11. G. I. Rees and H. K. D. H. Bhadeshia, “Bainite transformation kinetics part 2 Non-uniform distribution of carbon”, Department of Materials Science and

- Metallurgy, University of Cambridge, Cambridge, 1992.
12. NILI AHMADABADI, M. "Bainitic Transformation in Austempered Ductile Iron with Reference to Untransformed Austenite Volume Phenomenon", Faculty of Engineering, Tehran University, Iran, 1996.
 13. Bosnjak, Branka, et al, "Microstructural and Mechanical Characteristic of Low Alloyed Ni-Cu-Mo Austempered Ductile Iron", ISIJ International, Vol40 No. 12, pp. 1246-1252, 2000
 14. M.R Adli, "Study Eksperimental Pengaruh Temperatur Austempering Terhadap Pembentukan Matriks Bainitic-Ferrite Pada FCD 50", Surabaya, 2007.
 15. Sofyan Moh, "Analisa Pengaruh Perlakuan Panas Austempering Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan serta Struktur Mikro FCD 600", Surabaya, 2014.
 16. ASM Hand Book Hand Vol 15

BIODATA PENULIS



Faisal Febrianto, dilahirkan di Surabaya 15 Februari 1992. Merupakan anak pertama dari pasangan Hari Santoso dan Rusmini. Penulis mengenyam pendidikan dasar di SDN Kebraon 2 Surabaya. Jenjang pendidikan selanjutnya di SMPN 16 Surabaya dan SMAN 9 Surabaya.

Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke tingkat perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan Jurusan Teknik Mesin dengan NRP 2110100140, dimana penulis mengambil bidang studi metalurgi. Selama kuliah penulis aktif dalam akademik dan kemahasiswaan. Dalam bidang kemahasiswaan penulis aktif berkecimpung menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Mesin dan menjabat sebagai Kepala Biro Usaha Mandiri (2012-2013). Dalam bidang akademik penulis aktif sebagai asisten laboratorium metalurgi dan pernah menjabat sebagai koordinator praktikum pengetahuan bahan teknik pada tahun 2013 serta koordinator praktikum metalurgi 2 pada tahun 2014.

Untuk semua informasi dan masukan dapat menghubungi penulis melalui email dono.krawu@gmail.com